

Pro gradu -tutkielma
Fysiikan opettajan suuntautumisvaihtoehto

Fysiikan opettajien argumentointi

Janette Ollikainen

Elokuu 2013

Ohjaajat:
Ismo Koponen
Terhi Mäntylä

Tarkastajat:
Ismo Koponen
Heimo Saarikko

HELSINGIN YLIOPISTO
FYSIIKAN LAITOS

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty/Section Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution – Department Fysiikan laitos	
Tekijä – Författare – Author Janette Ollikainen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Fysiikan opettajien argumentointi			
Oppiaine – Läroämne – Subject Fysiikan opettaja			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro Gradu - tutkielma		Aika – Datum – Month and year Elokuu 2013	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 44 + 13
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Argumentoinnista luonnontieteen opetuksen kontekstissa on julkaistu paljon tutkimuksia viimeisen parinkymmenen vuoden aikana. Argumentointitaitojen nähdään luonnontieteen opetuksessa lisäävän oppilaiden ymmärrystä luonnontieteen käytännöistä sekä auttavan mallien, teorioiden ja selitysten rakentamisessa. Myös oppilaiden tieteellisen kielen käytön, kriittisen ajattelun ja päättelykyvyn on koettu parantuvan. Tutkimukset ovat kuitenkin keskittyneet lähes kokonaan oppilaiden argumentointiin. Opettajan roolin on nähty olevan lähinnä oppilaiden kannustaminen omien argumenttien tekemiseen ja argumentoinnin opettaminen sopivia pedagogisia strategioita käyttäen. Opettaja toimii kuitenkin jatkuvasti esimerkkinä asiantuntijan argumentoinnista omalla argumentoinnillaan. Siksi on tärkeää kiinnittää huomiota myös opettajien argumentointiin.</p> <p>Tässä tutkimuksessa on analysoitu kahden fysiikan opettajan lukion oppitunneilla käyttämiä argumentteja. Aineistona on käytetty videoita sähköstatiikan oppitunteja. Argumentit on ensin luokiteltu rakenteellisesti Toulminin argumentaatioteorian avulla, jonka jälkeen on tarkasteltu niiden fysikaalista pätevyyttä Nousiainen-neliportaista mallia käyttäen, sekä argumenteissa käytettyjä moodeja.</p> <p>Vaikka oppitunnit olivat luentomallisia, niissä esiintyi useita eri moodeja. Esimerkiksi matemaattisia moodeja esiintyi tasaisesti kaikissa argumentin osissa, ja jopa niin, että usein koko argumentti oli täysin matemaattinen. Opettajien argumenteista melkein neljäsosa (9/38) jäi kokonaan ilman perustelua, ja perustelun sisältäneistä argumenteistakaan kaikki eivät olleet fysikaalisesti päteviä. Esimerkiksi toisen opettajan argumenteista vain alle puolet (8/21) täyttivät fysikaaliselle pätevyydelle asetetut ehdot.</p> <p>Analysointivaiheessa tuli selväksi, että argumentteja pitää käsitellä multimodaalisina, jotta ei menetettäisi oleellista tietoa opettajien argumentoinnista. Tuloksista nähdään myös, että rakenteellisesti hyvä argumentti saattaa olla sisällöllisesti riittämätön. Tästä syystä argumenttien rakenteen lisäksi tulisi aina tarkastella erikseen myös argumenttien sisältöä. Vaikka molemmat opettajat olivat kokeneita fysiikan opettajia, oli argumentoinnissa paljon parannettavaa. Tutkielman pohdintaosiossa esitetään muutama ehdotus fysiikan opettajien argumentointitaitojen parantamiseksi.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords argumentointi, fysiikan opetus, multimodaalisuus, Toulminin argumentaatioteoria			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kumpulan tiedekirjasto			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Kiitokset Terhi Mäntylälle ja Ismo Kuposelle gradun ohjaamisesta,
sekä Heimo Saarikolle gradun arvioinnista pikaisella aikataululla.

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	1
2. Argumentointi.....	3
2.1. Argumentointi luonnontieteen kontekstissa.....	3
2.2. Argumenttien ja argumentoinnin tutkimus luonnontieteiden opetuksessa.....	5
2.2.1. Argumentoinnin tutkimisessa käytetyt menetelmät.....	5
2.2.2. Toulminin argumentaatioteoria.....	7
2.3. Argumentointi fysiikan oppitunneilla.....	9
3. Multimodaalisuus.....	11
3.1. Multimodaalisuus luonnontieteen opetuksessa.....	11
3.2. Multimodaalisen opetuksen tutkiminen.....	12
4. Aineisto ja menetelmät.....	14
4.1. Aineisto.....	14
4.2. Argumenttien luokittelu.....	14
4.3. Multimodaalisuus.....	19
4.4. Episteemisyyys.....	20
4.5. Tulosten luotettavuus.....	23
5. Tulokset.....	25
5.1. Argumenttien rakenne.....	25
5.2. Multimodaalisuus argumentoinnissa.....	30
5.3. Argumenttien sisältö.....	34
6. Pohdinta.....	37
6.1. Argumentoinnin tutkiminen.....	37
6.2. Fysiikan opettajien argumentointi.....	38
6.3. Fysiikan opettajien argumentointitaitojen kehittäminen.....	39
7. Yhteenveto.....	41
8. Lähteet.....	42
Liite A: Opettajan A argumentit.....	45
Liite B: Opettajan B argumentit.....	52

1. Johdanto

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan fysiikan opettajien argumentteja niiden rakenteen ja sisällön kannalta. Argumenttien rakenteellisessa luokittelussa on käytetty apuna Toulminin (2008) argumentaatioteoriaa ja sisällön tarkastelussa Nousiaisen (2012) käsitekarttojen arviointia varten kehittämää neliportaista mallia. Aineistona on käytetty videoita kahden fysiikan opettajan sähköstatiikan tunneista. Koska fysiikan oppitunneilla argumentointi ei ole pelkästään kielellistä, on argumentteja tarkasteltu multimodaalisina kokonaisuuksina. Luonnontieteen oppitunneilla tapahtuvaa argumentointia on tutkittu paljon viimeisen parinkymmenen vuoden aikana, mutta pääpaino on ollut oppilaiden argumentoinnin tutkimisessa. Opettajien tehtävän on nähty olevan lähinnä argumentoinnin opettaminen ja oppilaiden argumentoinnin mahdollistaminen luokahuoneessa.

Argumentoinnista luonnontieteiden opetuksen kontekstissa kiinnostuttiin 1990-luvulla, ja erityisesti 2000-luvulla aiheesta on julkaistu useita tutkimuksia. Argumentointitaitojen nähdään olevan tärkeitä luonnontieteiden oppimisen kannalta, koska ne muun muassa helpottavat mallien, teorioiden ja selitysten rakentamista, kehittävät kriittistä ajattelua ja auttavat sisäistämään luonnontieteiden käytäntöjä (Erduran & Jimenénez-Aleixandre, 2008). Tutkimuksissa on keskitytty erityisesti oppilaiden argumentointitaitoihin ja siihen, miten niitä saataisiin parannettua (esim. Clark ym., 2008; Kelly & Takao, 2002; Osborne, Erduran & Simon 2004; Sandoval & Millwood, 2005). Koska oppilaat harvoin pääsevät näkemään varsinaisia luonnontieteilijöitä tai fyysikoita työssään, toimii opettajan argumentointi usein ainoana esimerkkinä luonnontieteellisestä argumentoinnista. Tämän vuoksi myös opettajien argumentointitaidolla on merkitystä.

2000-luvulla luonnontieteiden opetusta on alettu myös tarkastella multimodaalisena toimenpiteenä. Aikaisemmin kielen on koettu olevan dominoiva moodi opetuksessa, ja muiden moodien tehtävä on ollut tukea puhetta ja tekstiä (Kress, Jewitt, Ogborn & Tsatsarelis, 2001). Pozzer-Ardenghin (2007) mukaan luonnontieteen opetuksen tutkimuksessa on kuitenkin puutetta tutkimuksista, jotka käsittelevät erilaisten moodien roolia ja käyttöä oppitunneilla. Koska kullakin oppiaineella on omat ominaiset moodinsa ja käytänteensä, on tässä tutkimuksessa keskitytty erityisesti fysiikkaan. Fysiikan opetukselle ominaisia ovat esimerkiksi matemaattisten mallien ja demonstraatioiden käyttö. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, minkälaista on fysiikan opettajien argumentointi, ja mitä moodeja opettajat käyttävät argumenteissaan.

Sampson ja Clark (2008) peräänkuuluttavat myös tutkimuksia, joissa selvitetäisiin yhteyttä argumenttien rakenteen ja argumenttien relevanssin, riittävyyden ja paikkansapitävyyden välillä. Usein tutkimuksissa, joissa on tarkasteltu argumenttien rakennetta, ei ole kiinnitetty huomiota argumenttien episteemiseen puoleen. Tarkoituksena onkin argumenttien rakenteen lisäksi tarkastella myös opettajien argumenttien fysikaalista pätevyyttä. Tutkimuksessa voidaan nähdä olevan siis kolme tavoitetta: opettajien argumenttien rakenteen, käytettyjen moodien, sekä argumenttien pätevyyden tarkastelu. Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraavaan kolmeen kysymykseen:

1. Millaisia piirteitä on fysiikan opettajien argumentoinnissa?
2. Mitä moodeja fysiikan opettajat käyttävät argumentointinsa tukena?
3. Onko argumenttien rakenteen ja fysikaalisen pätevyyden välillä yhteyttä?

Tutkimuksessa perehdytään ensin argumentoinnista ja multimodaalisuudesta julkaistuihin aikaisempiin tutkimuksiin sekä käytettyihin menetelmiin. Tämän jälkeen aineiston pohjalta pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin, ja tehdään ehdotuksia opettajien argumentoinnin parantamiseksi.

2. Argumentointi

2.1. Argumentointi luonnontieteen kontekstissa

Argumentilla tarkoitetaan suomen kielessä perustelua tai väitteen, perusteluiden ja taustaoletusten kokonaisuutta. Tässä tutkimuksessa argumentista puhuttaessa voidaan viitata kuitenkin myös pelkkään väitteeseen tulosten tarkastelun helpottamiseksi. Argumentti eroaa selityksestä siten, että selitys vastaa kysymykseen ”Miksi jotain tapahtui?”, kun taas argumentin tarkoituksena on vakuuttaa vastaanottaja annetun väitteen oikeellisuudesta. Koska argumentin tehtävä on vakuuttaa vastaanottaja, on argumentin hyvyys periaatteessa sama asia kuin sen vakuuttavuus (Kakkuri-Knuuttila, 2007).

Jossain tutkimuksissa argumenttien hyvyys on rinnastettu suoraan argumentin rakenteeseen. Erduran, Simon ja Osborne (2004) tutkivat oppilaiden argumentointia luonnontieteen oppitunneilla. He käyttivät argumenttien luokittelussa Toulminin argumentaatioteoriaa, jota käsitellään tarkemmin luvussa 2.2. Argumentit jaoteltiin ryhmiin sen mukaan, kuinka monta erilaista osaa argumentti sisälsi, ja argumentin katsottiin olevan sitä parempi, mitä useammasta osasta se rakentui. Esimerkiksi argumentti, joka koostui väitteestä ja perustelusta oli huonompi kuin argumentti, jossa oli lähtötieto, väite ja vastaväite. Erduran ym. luokittelivat siis yhtä hyväksi esimerkiksi argumentit, jotka sisälsivät väitteen ja perustelun tai väitteen ja vastaväitteen, tai argumentit joissa oli väite, lähtötieto ja vastaväite tai väite, perustelu ja taustatuki perustelulle.

Schwarz ym. (2003) keskittyivät perusteluiden ja vastaväitteen ilmentymiseen. He kehittivät arviointimenetelmän opiskelijoiden ohjattuja kirjallisia argumentteja tai esseitä varten. Arviointimenetelmässä huonoin argumentti sisältää vain väitteen. Seuraavalla tasolla väitteen tueksi on annettu yksi tai useampi perustelu. Kaikkein parasta argumentointia edustaa kirjoitelma, jossa on väite, jokin vastaväite, molemmille useita perusteluja, sekä selkeä päätelmä siitä, kumman väitteen (väite vai vastaväite) kannalle ollaan päädytty. Tässä tutkimuksessa on katsottu, että tieteellisten argumenttien hyvyydelle pätevät kuitenkin tarkemmat kriteerit kuin vain vakuuttavuus tai rakenneosien lukumäärä. Näitä kriteerejä käsitellään tarkemmin luvussa 2.3.

Erduran & Jimenénez-Aleixandre (2008) ovat tehneet yhteenvedon tutkimuksista, jotka käsittelevät argumentointia luonnontieteiden opetuksen kontekstissa. Näiden tutkimusten perusteella he näkevät tärkeänä argumentoinnin opetuksen lisäämisen nimenomaan luonnontieteiden opetukseen, koska argumentaatiolla on keskeinen rooli mallien, teorioiden ja selitysten rakentamisessa. Erduranin ja Jimenénez-Aleixandren kokoelmateoksen mukaan alan tutkimuksista on löydettävissä viisi perustelua argumentoinnin opettamisen puolesta.

Argumentoinnin opetus luonnontieteissä:

1. tukee kommunikaatiotaitojen ja kriittisen ajattelun kehittymistä.
2. edistää tieteellisen kielen käyttöä.
3. auttaa oppilaita sisäistämään luonnontieteiden käytäntöjä ja kehittää kykyä arvioida tietoa luonnontieteiden tietoteorian kriteereiden pohjalta.

4. kehittää päättelykykyä. (Esimerkiksi teorioiden tai näkemysten valinta perustuen järkiperäisiin kriteereihin.)
5. tarjoaa mahdollisuuden tarkastella asiantuntijoille ominaisia kognitiivisia ja metakognitiivisia prosesseja, sekä mahdollistaa mallintamisen.

Von Aufschnaiter ym. (2008) pyrkivät selvittämään, miten argumentointi vaikuttaa oppilaiden luonnontieteen ymmärrykseen, tutkimalla 12-13 – vuotiaiden suullista argumentointia luokahuoneympäristössä. Tulokset osoittivat, että oppilaat pystyivät osallistumaan vain argumentaatioon, johon heidän aikaisemmat käsitteelliset tietonsa riittävät. Argumentaatioon pohjautuvilla oppitunneilla oli kuitenkin positiivinen vaikutus oppilaiden ajatteluun, koska argumentointi auttoi saamaan esiin kohtuullisen korkealla abstraktion tasolla oppilaiden aikaisemmat tiedot. Uuden opettamisen sijaan argumentaatio siis vahvisti oppilaiden aikaisempaa osaamista. Von Aufschnaiterin ym. mukaan myös aikaisempien tietojen kehitys on tärkeää, jotta oppilaat voivat soveltaa ja yhdistää osaamistaan nopeammin uusiin aihealueisiin ja saavuttaa korkeamman tason ymmärryksen.

Oppilaiden argumentointitaitojen kehittämiseksi on ehdotettu muun muassa erillistä argumentointiteorian opettamista (Osborne ym., 2004; Zohar & Nemet, 2002), keskustelun lisäämistä oppitunneille (Felton, 2004) ja roolipelin omaista väittelyä (Mork, 2006). Argumentointitaitojen opiskeluun on myös pyritty kehittämään erillisiä opetusmateriaaleja (Osborne ym. 2004) sekä virtuaalisia oppimisympäristöjä ja ohjelmia (Clark ym., 2008). Artikkelit, joissa on käsitelty opettajien valmiutta opettaa argumentointitaitoja luonnontieteen kontekstissa, ovat keskittyneet argumentoinnin ja korkeamman ajattelun (higher-order thinking) teorioiden hallitsemiseen (esim. Simon, Erduran & Osborne, 2006; Zohar, 2008). Zoharin (2008) mukaan opettajilla pitää olla tietoa argumentoinnin strategioista ja pedagogista tietoa argumenttien opettamisesta. Fysiikan opetuksen kannalta tärkeää on kuitenkin myös tieto fysiikan luonteesta ja sen omista käytännöistä. Se, millaista argumentointia vaaditaan fysiikan opettajalta, eroaa monen muun oppiaineen vaatimuksista. Fysikaalisessa argumentoinnissa korostuu kokeiden ja mallien käyttö perusteluissa, mikä ei välttämättä ole oleellisista humanistisilla tai kielellisillä oppitunneilla tapahtuvassa argumentoinnissa.

Aikaisemmissa tutkimuksissa opettajan roolin on nähty olevan lähinnä oppilaiden kannustaminen omien argumenttien tekemiseen ja argumentoinnin opettaminen sopivia pedagogisia strategioita käyttäen. Opettaja toimii kuitenkin jatkuvasti esimerkkinä asiantuntijan argumentoinnista omalla argumentoinnillaan. Myös opettajan argumentointitaidoilla on siis merkitystä oppilaiden käsitykseen hyvästä tieteellisestä argumentoinnista. Osborne ym. (2004) tutkivat useita oppilasryhmiä yrittäessään selvittää, miten oppilaiden argumentointitaitoja voisi kehittää. Tutkimukseen osallistuvien opettajien tuli kehittää menetelmiä argumentoinnin opettamiseksi ja pitää lukuvuoden aikana tietty määrä argumentointiin keskittyviä oppitunteja. Yksi tutkimuksen tuloksista oli, että oppilaat ymmärtävät argumenttien ja perusteluiden oikeanlaisen käytön paremmin, kun heille annetaan esimerkkejä argumenteista. Opettajien argumentointiin ei kuitenkaan kiinnitetty huomiota, vaan tutkimuksessa ehdotettiin, että opettajat esimerkiksi kirjoittavat oppilaille nähtäväksi erilaisia argumentteja. Muutama erillinen esimerkki

argumenteista ei kuitenkaan voi korvata päivittäin luokkahuoneessa saatavaa argumentoinnin mallia. Jos opettaja esimerkiksi jättää väitteitään perustelematta, voivat oppilaat ajatella, että näytettyjen esimerkkien mukaisia argumentteja tulee käyttää vain niitä erikseen vaadittaessa – ei siis ”normaalissa” opiskelussa.

Erduran ym. (2004) käyttivät edellä mainitun tutkimuksen aineistoa tutkiakseen oppilaiden argumenttien rakennetta luonnontieteiden oppitunneilla. Tutkimuksessa kävi ilmi, että samojen opettajien eri oppilasryhmien argumentointi oli samankaltaista. Opettajalla oli siis suuri vaikutus oppilaiden argumentointiin. Jotta oppilaiden argumentointitaitoja pysyttäisiin parantamaan, on myös opettajien osattava muodostaa argumentteja. Tässä tutkimuksessa onkin tarkoitus selvittää, minkälaisia ovat fysiikan opettajien argumentit ja ovatko ne fysikaalisesti päteviä.

Tutkimuksia, joissa olisi tarkasteltu nimenomaan luonnontieteen opettajien argumentointia, on huomattavasti vähemmän kuin oppilaiden argumentointiin keskittyviä tutkimuksia. Yksi tällainen on Sampsonin ja Blanchardin (2012) teettämä haastattelumallinen tutkimus, jossa luonnontieteen opettajien argumentointia tutkittiin valmiiden väitteiden ja tausta-aineistojen avulla. Tutkimuksessa opettajille annettiin erilaisia väitteitä sekä perusteluja tai tausta-aineistoa, ja heitä pyydettiin muodostamaan argumentteja tai arvioimaan valmiiksi annettuja perusteluja. Tutkimuksessa ilmeni, että luonnontieteen opettajat luottavat enemmän omaan sisältötietoonsa ja aikaisempiin kokemuksiinsa kuin saatavilla olevaan aineistoon arvioidessaan perusteluiden pätevyyttä. Lisäksi opettajat keskittyivät ennemmin selkeän selityksen muodostamiseen jostakin ilmiöstä kuin tausta-aineiston käyttöön sen todistamiseksi.

2.2. Argumenttien ja argumentoinnin tutkimus luonnontieteiden opetuksessa

2.2.1. Argumentoinnin tutkimisessa käytetyt menetelmät

Argumenttien ja argumentoinnin tutkimukseen on kehitetty useita eri menetelmiä. Osa menetelmistä perustuu argumenttien rakenteen tutkimiseen, ja toisissa pääpaino on argumenttien sisällön tarkastelussa. Menetelmät eroavat toisistaan myös siinä, voidaanko niitä soveltaa kaikkiin argumentteihin, vain onko ne kehitetty tiettyä rajattua aihepiiriä varten. Edellisessä luvussa käsiteltiin jo Schwarzin ym. (2003) menetelmää, jossa pääpaino oli kirjallisen argumentoinnin rakenteen tarkastelussa.

Tarkastellaan seuraavaksi muutamaa menetelmää, jotka on kehitetty argumenttien sisällön analyysiin. Zohar ja Nemet (2002) tutkivat argumentointitaitojen opettamisen vaikutusta oppilaiden argumentointiin ihmisen genetiikan kontekstissa. He käyttivät oppilaiden kirjallisten argumenttien tutkimiseen menetelmää, jossa hyvä argumentti sisältää useita perusteluita. Perusteluiden tulee lisäksi koostua tieteellisesti järkevistä käsitteistä ja tiedoista. Zohar ja Nemet jaottelevat perustelut neljään kategoriaan: (1) ei tieteellistä tietoa, (2) virheellinen tieteellinen tieto, (3) epämääräinen tieteellinen tieto ja (4) oikea tieteellinen tieto. Menetelmässä tarkastellaan ainoastaan perusteluja, joten sen mukaan argumentti saattaa olla vahva, vaikka itse väite ei olisi järkevä. Myös Kelly ja Takao (2002) käyttivät kehittelemäänsä menetelmää kirjallisten argumenttien tutkimiseen. Heidän menetelmässään kirjoituksen sisältämät osat

luokitellaan episteemisiin tasoihin, ja myös osien väliset linkit huomioidaan. Kelly ja Takao testasivat menetelmäänsä yliopisto-opiskelijoiden meritieteestä tekemien kirjallisten argumenttien avulla. Opiskelijoiden tuli kirjoittaa annettujen kysymysten ja aineiston perusteella tieteellinen kirjoitelma, jonka osat luokiteltiin kuuden episteemisen tason avulla. Näistä taso VI sisältää kuvauksia yleisistä maantieteellisistä prosesseista ja määritelmistä, jotka eivät välttämättä liity suoranaisesti tarkasteltavaan aiheeseen. Taso I puolestaan sisältää täsmällisiä viittauksia saatavilla olevaan aineistoon. Menetelmä vaatii melko rajatun aihepiirin, ja se sopii lähinnä argumentoinnin tutkimiseen yksittäisten argumenttien sijasta.

Sandoval ja Millwood (2005) keskittyivät argumenttien käsitteelliseen ja tietoteoreettiseen puoleen tutkiessaan lukiolaisten kirjallista argumentointia kahden luonnonvalintaan liittyvän ongelman puitteissa. Tietoteoriaosiossa kiinnitetään huomiota siihen, onko opiskelija viitannut sopiviin taustatietoihin väitteen perustelemiseksi, onko argumentointi loogista, ja onko taustatietojen lähdetiedot mainittu. Jotta argumentointi olisi käsitteellisesti laadukasta, pitää siinä lisäksi olla aihepiirin teoriataustaan sopivia väitteitä, jotka on perusteltu käyttäen saatavilla olevaa tietoa. Sandovalin ja Millwoodin menetelmän käyttämiseksi tutkijan tulee luoda täydellinen malliesimerkki, josta käy ilmi vaadittavat perustelut sekä niiden tueksi tarvittavat tiedot. Tästä syystä menetelmä sopii vain hyvin rajatun aihepiirin tutkimiseen.

Mainituista menetelmistä suurin osa on tehty kirjallista argumentointia varten (esim. Schwarz ym., 2003; Zohar & Nemet, 2002). Lisäksi niiden käyttö vaatisi argumentoinnin tuottamisen kontrollointia (Kelly & Takao, 2002; Schwarz ym., 2003; Zohar & Nemet, 2002) tai tarkkojen malliargumenttien luomista (Sandoval & Millwood, 2005). Opettajien argumentoinnin objektiivinen tutkiminen luokkatilanteessa vaatii, että oppituntien sisältöä ei kontrolloida, ja toisaalta jokaiselle opettajan esittämälle argumentille malliargumentin luominen olisi liian työlästä. Aikaisempia menetelmiä onkin käytetty lähinnä oppilaiden tiettyyn rajattuun aihepiiriin muodostamien argumenttien tutkimiseen.

Kaksi laajasti tunnettua alariippumatonta argumentaatioteoriaa ovat Toulminin (2008) ja Waltonin teorialat (1996). Toulmin on luonut argumentista aiheesta riippumattoman mallin, jota voidaan käyttää kaikkien argumenttien luokittelussa. Walton puolestaan keskittyy luokittelemaan yleisiä argumenttien rakenteita (argumentation schemes). Muutama näistä rakenteista on tiivistetysti kirjattu taulukkoon 1.

Taulukko 1: Esimerkkejä Waltonin argumenttien rakenteista

Argumentin rakenne	Määritelmä
Asiantuntijan mielipide	Ulkopuoliseen asiantuntijälähteeseen viittaaminen.
Sitoumus	Henkilö A väittää, että henkilön B tulisi olla sitoutunut johonkin tiettyyn kantaan.
Tiedon asema	Henkilöllä A on syytä olettaa, että henkilöllä B on sellaista tietoa, jota A:lla ei ole.
Korrelaatiosta syyhyn	Kausaalisen yhteyden päättelyminen kahden tapahtuman, joiden on todettu korreloivan keskenään, välille.
Seuraukset	Käytännöllistä järkeilyä, jossa jonkin tapahtuman kannalla/tapahtumaa vastaan ollaan, koska sen seuraukset ovat hyvät/huonot.

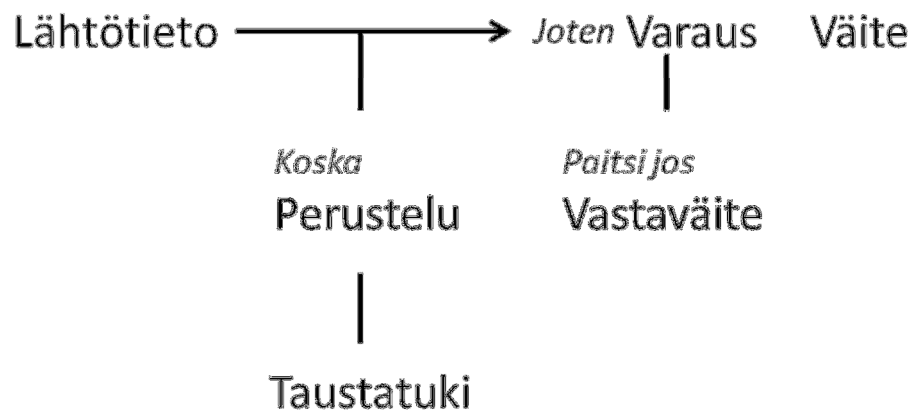
Waltonin teoria ottaa kantaa myös argumenttien sisältöön, mutta se käsittää tieteellisten argumenttien lisäksi esimerkiksi arkitilanteissa ja lakiasioissa käytettävät argumentit. Toinen ongelma Waltonin teoriassa on rakenteiden suuri määrä. Aluksi Walton esitteli 26 erilaista rakennetta (Walton, 1996), joka on hallittava määrä, mutta myöhemmin analysoitavien rakenteiden määrä on kasvanut jopa 96:een (Walton, Reed & Macagno, 2008). Erilaisten rakenteiden suuri määrä herättää kysymyksen siitä, voidaanko argumentteja ylipäänsä järkevästi luokitella. Jotta Waltonin esittämiä rakenteita voitaisiin käyttää aineiston luokittelussa, tulisi analysoitavien argumenttien määrän olla suuri. Toinen mahdollisuus olisi valita muutama tutkimuksen aihepiiriin sopiva rakenne, mutta tämä heikentäisi huomattavasti tutkimuksen objektiivisuutta. Toulminin teoria onkin ollut huomattavasti suositumpi luonnontieteen opetuksen kontekstissa tapahtuvan argumentoinnin tutkimuksissa, ja sitä käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

2.2.2. Toulminin argumentaatioteoria

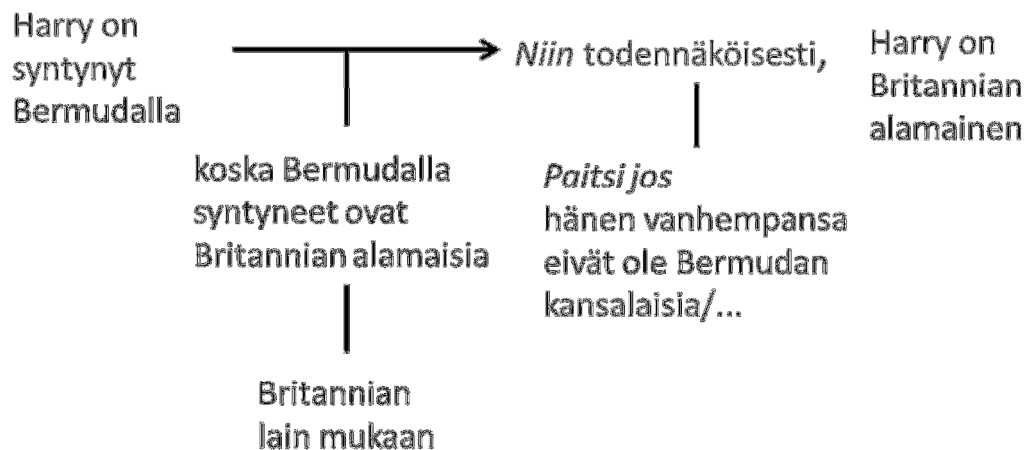
Tämän tutkimuksen pohjaksi on valittu Toulminin (2008) argumentaatioteoria kahdesta syystä. Ensimmäinen Toulminin teoria on ollut suosittu argumentteja luonnontieteen kontekstissa tarkastelevissa tutkimuksissa, joten sen käyttö lisää tutkimuksen vertailtavuutta. Toiseksi Toulminin teoria on alariippumaton ja sitä voidaan soveltaa monenlaisiin tarkoituksiin. Tästä on hyötyä, koska opettajien argumentointi oppitunneilla voi olla hyvin monimuotoista. Lisäksi osa argumenttien luokittelumenetelmistä on kehitetty Toulminin teorian pohjalta (esim. Zohar & Nemet, 2002).

Toulminin mukaan argumenteista on löydettävissä alasta riippumattomia rakenneosia, jotka on esitetty kuvassa 1. Argumentin oleellisimpia osia ovat jokin lähtötieto (data), sen perusteella tehty väite (claim), sekä perustelu (warrant), joka yhdistää lähtötiedon ja väitteen toisiinsa. Muita argumentin osia ovat varaus (qualification) ja vastaväite (rebuttal), jotka ilmaisevat väitteen pätevyysalueen, sekä perustelun taustatuki (backing). Lähtötieto on jokin selkeästi havaittava asia, joka toimii argumentin pohjana. Perustelun tehtävänä puolestaan on yhdistää lähtötieto ja väite toisiinsa: ”Koska lähtötieto ja perustelu, niin väite.” Argumentin esittäjän antama perustelu voidaan kuitenkin asettaa kyseenalaiseksi, jolloin perustelun tueksi on esitettävä jokin taustatuki (”mihin tietoon pohjaan perusteluni”). Varaus ilmaisee, millä todennäköisyydellä jokin väite pitää paikkansa, ja vastaväite ilmaisee tilanteen, jossa väite ei ole tosi.

Tarkastellaan selvyiden vuoksi teoriaa yhden Toulminin oman esimerkin avulla. Oletetaan, että Harry on syntynyt Bermudalla. Tämä on siis lähtötietomme. Nyt voidaan tehdä päätelmä, että Harry on myös Britannian alamainen, koska Bermudalla syntyneet ovat Britannian alamaisia. Tässä ”Harry on Britannian alamainen” on siis väite ja ”Bermudalla syntyneet ovat Britannian alamaisia” perustelu. Jos joku kysyy, mistä tiedämme Bermudalla syntyneiden olevan Britannian alamaisia, voimme käyttää perustelumme taustatukena esimerkiksi Britannian lakia. Väite ei kuitenkaan välttämättä aina pidä paikkaansa. Harryn vanhemmat voivat olla esimerkiksi vain lomamatkalla Bermudalla Harryn syntyessä. Väite pätee siis vain *todennäköisesti*. Sana *todennäköisesti* toimii argumentissa varauksena, ja mahdolliset syyt miksi väite ei päde, vastaväiteinä. Esimerkki on esitetty Toulminin argumentaatiokaavion avulla kuvassa 2.



Kuva 1: Toulminin argumentaatiokaavio



Kuva 2: Esimerkkiargumentti Toulminin argumentaatiokaavion avulla kirjoitettuna

Toulminin argumentaatiomalli ei edellytä argumenttien seuraavan täydellisesti argumentaatiokaaviota. Argumentin ei tarvitse sisältää kaikkia osia, eikä osien tarvitse olla tietyssä järjestyksessä. Mikäli jokainen esitetty argumentti olisi kaavion mukainen, tulisi niistä pitkiä ja vaikeaselkoisia. Varsinkaan kaikkien mahdollisten vastaväitteiden lausuminen ei olisi tarkoituksenmukaista. Toulminin kaavio ei ota myöskään kantaa argumentin pätevyyteen. Argumentti voi olla täysin pätevä, vaikka siitä puuttuisi osia, tai se ei noudattaisi kaavaa lähtötieto-perustelu-väite. Toulminin teoriassa lähtötiedot, perustelut, väitteet ynnä muut ovat alasta riippumattomia argumentin osia, joita voidaan käyttää argumenttien rakenteen tutkimiseen kontekstista riippumatta. Sen sijaan se, mitä luokitellaan esimerkiksi päteväksi väitteeksi tai perusteluksi, on alariippuvaista. Varsinkin se, mikä on riittävä taustatuki, vaihtelee tieteenaloittain. Fysiikassa perusteluiden tukena toimivat erityisesti kokeet ja mallit. Suurin osa tutkimuksista, joissa Toulminin teoriaa on käytetty, on keskittynyt tarkastelemaan argumenttien alasta riippumattomia elementtejä, joten ne tarjoavat vain vähän tietoa argumenttien tieteellisestä pätevyydestä (Sampson & Clark, 2008). Jotta saataisiin tietoa myös argumenttien sisällöstä, pitää Toulminin mallin lisäksi käyttää jotakin muuta menetelmää.

2.3. Argumentointi fysiikan oppitunneilla

Kuten edellisessä luvussa mainittiin, Toulminin teoria ei ota kantaa argumentin sisältöön. Fysikaalisille argumenteille on kuitenkin omat pätevyyssehtonsa. Fysiikan oppitunneilla esitettävien argumenttien ei tule olla pelkästään vastaanottajan mielestä uskottavia, vaan myös fysikaalisesti järkeviä. Nousiainen (2012) on luonut neliportaisen mallin käsitekarttojen sisällön pätevyyden tarkasteluun. Malli sopii hyvin myös tähän tutkimukseen, koska sen pohjana on käytetty argumentaation tutkimista varten luotuja menetelmiä. Lisäksi malli on kehitetty nimenomaan fysiikan kontekstiin.

Nousiaisen mukaan sisällön tarkastelussa on neljä kriteeriä - ontologia, tiedot, metodologia ja järkevyy (valid justification) - jotka seuraavat hierarkisesti toisiaan. Käsitellään näitä seuraavaksi tarkemmin argumenttien näkökulmasta:

1. Ontologia: Argumentissa tulee olla käsiteltävään fysikaaliseen aihekokonaisuuteen liittyvät oikeat käsitteet. Lisäksi käsitteiden tulee olla järkevästi yhteydessä toisiinsa.
2. Tiedot: Argumentissa tulee käyttää tarkoituksenmukaisia ja oikeita käsitteitä ja lakeja, jotka täyttävät aikasemman ehdon ontologisuudesta. Argumenttiin liittyvät lait, käsitteet ja periaatteet tulee tuntea, jotta argumentista voisi tulla järkevä. Pelkkien faktojen tunteminen ei vielä kuitenkaan riitä hyvän argumentin luomiseen. On mahdollista tietää esimerkiksi käsitteiden välillä olevan jokin yhteys, ilman että tietää enempää tämän yhteyden sisällöstä. Oikeat tiedot kuitenkin väistämättä toimivat lähtökohtana päteville argumenteille.
3. Metodologia: Käsitteiden ja lakien linkittämisessä on käytettävä siihen soveltuvia kokeita tai malleja. Argumenteissa tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että esimerkiksi taustatukena käytetty koe todellakin auttaa perustelemaan väitettä. Kokeiden ja mallien tulee olla fysikaalisesti järkeviä, ja lisäksi kokeiden tulee olla toteutettavissa.
4. Järkevyy: Järkevän argumentin tulee olla perusteltu ja toimiva. Edellä mainittujen kriteerien lisäksi argumentin osien tulee esiintyä loogisessa järjestyksessä, jotta argumenttia pystyy seuraamaan.

3. Multimodaalisuus

3.1. Multimodaalisuus luonnontieteen opetuksessa

Kuten aikaisemmissa luvuissa todettiin, argumentit eivät ole aina pelkästään suullisia tai kirjallisia. Siksi olisikin puutteellista tarkastella argumentointia pelkästään kielellisenä toimintona. Erilaisia esittämisen ja vastaanottamisen muotoja kutsutaan modaliteeteiksi. Näitä voivat olla esimerkiksi kielellinen tai toiminnallinen modaliteetti. Modaliteetin ilmentymismuotoa kutsutaan puolestaan moodiksi. Toiminnallisen modaliteetin moodeiksi voitaisiin lukea muun muassa eleet, oppilaskokeet tai demonstraatiot. Esimerkiksi luonnontieteelliset artikkelit koostuvat tekstin lisäksi muistakin moodeista, kuten graafeista, taulukoista ja kuvista. Myös Lemke (1998) on todennut artikkeleiden multimodaalisuuden tutkiessaan tieteellisiä julkaisuja. Hänen mukaansa luonnontieteen ymmärtäminen vaatii jatkuvaa tiedon kääntämistä modaliteetista toiseen, sekä useista moodeista saatavan tiedon yhdistämistä. Kaikilla modaliteeteilla on hieman erilainen tarkoitus, mutta yhteistyössä ne auttavat luonnontieteilijää ilmaisemaan sanomansa.

Luonnontieteen opetuksen tutkimuksessa on huomattu, että käsitteiden ja metodien oppiminen vaatii erilaisten esitystapojen ymmärtämistä ja niiden linkittämistä toisiinsa. Oppilaiden tulee kehittää ymmärrys monenlaisista moodeista ja oppia muuntamaan tietoa moodista toiseen (Prain & Waldrup, 2006). Useiden moodien käytön hyödyllisyys johtuu todennäköisesti siitä, että niiden erilaiset esitysmuodot välittävät informaatiota ja merkityksiä selvästi erilaisilla tavoilla. Jokainen moodi edellyttää erilaista kognitiivista työtä, ja niillä on erilaiset tiedolliset ja toiminnalliset seuraukset (Kress ym., 2001).

Prainin ja Waldrupin (2006) mukaan oppilaan harhakäsitykset voidaan saada esiin, jos oppilas laitetaan ilmaisemaan opittu asia jonkin muun moodin avulla kuin millä se on alunperin esitetty. Tiedon muuntaminen muodosta toiseen vaatii aina käsitteellistä ymmärrystä aiheesta. Prain ja Waldrup huomauttavat myös, että multimodaalisuuden tärkeyttä opetuksessa ei tule sekoittaa teorioihin erilaisista oppimistyyleistä. Oppimisen kannalta oleellista on, että moodeja käytetään monipuolisesti – ei siis ainoastaan niitä, joilla oppilaan on todettu oppivan parhaiten. Kuitenkin heidän alakoulun opettajille teettämässään kyselyssä kävi ilmi, että opettajilla on taipumusta ajatella multimodaalisuutta nimenomaan oppimistyylien kannalta. Opettajien mielestä saman asian opetuksessa tulisi käyttää useita moodeja, koska jotkin moodit toimivat paremmin joillakin oppilailla kuin muut moodit. Tämän näkemyksen mukaan opetuksessa on siis lähinnä kyse oikean moodin yhdistämisestä tiettyyn oppimistyyliin, ja käsitteiden ymmärtäminen jonkin moodin kautta on riittävää asian oppimiseksi. Osalla opettajista oli myös suoraviivainen näkemys siitä, että mitä enemmän ”aisteja” oppilaat käyttävät opiskelussa, sitä tehokkaampaa oppiminen on. Toisaalta ainakin yksi opettajista näki useiden moodien käytön olevan hyödyllistä aikaisempien tietojen prosessoinnissa ja auttavan oppilaita kehittämään paremman ymmärryksen aiheesta.

Marttunen ja Lehtinen (1998) tutkivat yliopisto oppilaiden argumentaatiotaitojen kehittymistä kymmenen viikkoa kestävässä argumentaatiokurssin aikana. Kurssilla puolet opiskelijoista osallistuivat seminaareihin, joissa argumentaatio tapahtui kasvokkain, ja puolet sähköpostikeskusteluihin. Sähköposteissa käytetyt argumentit olivat jäsennellympiä ja sisälsivät enemmän mielipiteitä ja vastaväitteitä kuin suulliset argumentit, mutta sähköpostiargumentaatioon osallistuneiden opiskelijoiden suulliset argumentaatiotaidot eivät kehittyneet. Taidot eivät siis automaattisesti siirtyneet moodista toiseen. Fysiikassa on joitakin nimenomaan fysiikan oppitunneille ominaisia moodeja, joiden käyttö vaatii oppilailta harjoittelua. Esimerkiksi oppilaskokeiden tulosten muuttaminen kuvaajiksi ja työselostukseksi ei onnistu oppilailta luonnostaan. Argumentoidessaan multimodaalisesti opettaja toimii esimerkkinä siitä, miten erilaiset moodit voidaan linkittää toisiinsa.

Hand, Gulel ja Ulu (2009) tutkivat fysiikan opiskelijoiden kykyä ilmaista aikaisemmin opittu asia erilaisten moodien yhdistelmänä. Tutkimukseen osallistui seitsemän lukion sähköopin ryhmää, jotka saivat kaikki samaa opetusta samalta opettajalta. Ryhmät osallistuivat ensin esitietokokeeseen, jossa oli kielellisiä, matemaattisia ja graafisia tehtäviä, ja opetuksen aikana ryhmät kirjoittivat kaksi opittuja asioita selittävää kirjettä. Kolme ryhmistä käytti kirjeissä vain tekstiä, kaksi tekstin lisäksi matematiikkaa ja kaksi tekstin lisäksi graafista esitystä. Lisäksi yksi matematiikkaa ja graafista esitystä ensimmäisessä kirjeessä käyttäneistä ryhmistä vaihtoi graafiseen/matemaattiseen esitykseen toisessa kirjeessä. Tulokset osoittivat, että parhaiten pärjäsivät ne ryhmät, jotka kirjoittivat ensimmäisen kirjeen käyttäen tekstiä ja matematiikkaa. Sen sijaan ryhmä, jossa ensin käytettiin graafeja ja sitten matematiikkaa, pärjäsikin kaikkein huonoiten. Hand ym. ehdottavat, että opiskelijoiden kannalta edullisempaa voi olla keskittyä opetuksessa ensin fysiikan matemaattiseen ilmaisuun, ennen siirtymistä graafisiin ilmaisiin. Kuten aikaisemmin on mainittu, erilaisten moodien käyttö vaatii harjoittelua. Siksi myös graafisen esitystavan käyttöä on harjoiteltava. Handin ym. tutkimustulokset saattavatkin olla osoitus siitä, että vaikka fysiikan opettajat ja oppikirjat käyttävät graafista esitystapaa, eivät opiskelijat ole itse saaneet sen käytöstä riittävästi kokemusta. Opitun asian muuntaminen vieraaseen moodiin vaatii suurempaa käsitteellistä ymmärrystä aiheesta, ja voi siksi ilmetä huonoina tuloksina.

3.2. Multimodaalisen opetuksen tutkiminen

Opettajan argumentoinnista voidaan tunnistaa eri modaliteetteja, mutta niitä ei tulisi tutkia irrallaan toisistaan. Modaliteetit saattavat sopia parhaiten jonkin tietyn tyyppisen informaation esittämiseen, mutta Pozzer-Ardenghin (2007) mukaan ne eivät koskaan toimi erillään toisistaan. Pozzer-Ardenghin mukaan opettajan esitellessä jotakin tieteellistä käsitettä, opettaja käyttää eri modaliteetteja ilmaisemaan samaa sisältöyksikköä. Oppitunneilla esiin tulevat käsitteet ovat siis jakautuneet eri modaliteetteihin. Modaliteetit eivät kuitenkaan ole alkeisosasia, joita voi tutkia erikseen muista modaliteeteista, vaan ne yhdessä muodostavat vuorovaikutuksen osan. Mietitään esimerkiksi osoitusta ja jotakin diagrammin osaa. Osoittamisessa on järkeä vain, jos on jotain, mitä osoittaa, ja diagrammin osasta tulee merkityksellinen vasta osoituksen myötä. Vaikka haluttaisiinkin keskittyä nimenomaan eleiden tutkimiseen, ei aineistosta voida sokeasti poimia erilleen vain pelkkiä eleitä menettämättä tietoa niiden käytöstä opetuksessa.

Taulukko 2: Osa Prainin ja Waldripin käyttämästä moodien luokittelusta

Modaliteetit	Tapaus 1: Sähköoppi
suullinen/ilmentävä	yksilölliset suulliset esitelmät, roolipelit, esiintymiset luokassa (class presentation)
graafinen ja visuaalinen	diagrammit
kirjallinen	tekstit, päiväkirjat, työmonisteet
numeerinen	matematiikka
kolmiulotteiset moodit	mallit, kokeet

Monet multimodaalisuutta luokkahuonetilanteissa tarkastelleista tutkimuksista ovat olleet hyvin laadullisia (esim. Kress ym., 2001; Pozzer-Ardengh, 2007) ja keskittyneet lähinnä kuvailemaan, miten multimodaalisuus ilmenee opetuksessa. Mitään laajasti käytettyä metodia ei modaliteettien tutkimiseen luonnontieteen opetuksessa ole nähtävissä. Tutkimuksissa, joissa moodien esiintymiseen on kiinnitetty huomiota (Jaipal, 2010; Prain & Waldrip, 2006), on tarkasteltavat moodit valittu sen mukaan, mitä moodeja oppitunneilla on esiintynyt. Taulukossa 2 on esimerkki Prainin ja Waldripin käyttämästä moodien jaottelusta. Alkuperäisessä taulukossa ensimmäinen sarake oli nimetty ”mode of representation”, mutta termien yhtenäistämiseksi se on tähän tutkimukseen nimetty uudelleen ”modaliteeteiksi”. Toiseen sarakkeeseen on merkitty heidän tarkastelemiensa alakoulun sähköoppituntien aikana esiintyneet moodit. Samankaltaista moodien luokittelua on käytetty myös tässä tutkimuksessa.

4. Aineisto ja menetelmät

4.1. Aineisto

Aineistona on käytetty videoita kahden fysiikan opettajan lukion sähköstatiikan oppitunneista. Molemmilta opettajilta oli videoitu kaksi 75 minuutin oppituntia. Videomateriaalia oli siis 2,5 tuntia kummaltakin opettajalta. Kaikkien oppituntien aiheena oli sähkökenttä. Lisäksi molemmilta opettajilta oli lyhyt taustatietolomake, jolla oli kerätty tietoa toista tutkimusta varten. Taustakyselyn kysymykset eivät siis sivunneet argumentointia, eikä niillä ole ollut vaikutusta tämän tutkimuksen tuloksiin. Opettajat ovat suorittaneet fysiikan laudatur-opinnot ja sivuaineena matematiikan cum lauden ja ovat siis päteviä opettamaan fysiikkaa lukiossa. Opettajalla A on noin 10 vuoden kokemus fysiikan opettamisesta ja opettajalla B noin 20 vuoden. Molemmat opettajat kirjoittivat taustatietolomakkeeseen käyttämiensä oppikirjojen vaikuttavan vain hyvin vähän omaan opetukseensa.

Aineiston käsittely aloitettiin litteroimalla videot. Ensimmäisellä katselukerralla videoista merkittiin ajanjaksot, joiden aikana tunneilla käsiteltiin jotain uutta asiaa. Litteroinnista jätettiin pois kotitehtävien anto ja tarkastus, sekä esimerkkilaskut jo käsitelystä asiasta. Myös oppitunnin aihealueeseen liittymättömät keskustelut ja toimet, kuten älytaulun kohdentaminen ja yleisistä asioista jutustelu, on jätetty litteroimatta. Toisella katselukerralla jäljelle jääneet osiot litteroitiin sanatarkasti. Videokamera ja mikrofoni olivat koko ajan suunnattuna opettajaan, joten oppilaiden esittämistä kommentteista oli vaikeaa saada selvää. Litterointia helpotti kuitenkin se, että oppitunnit olivat luentomallisia, joten oppilaiden kommentteja oli vain muutama. Opettajien argumentointi ei myöskään ollut dialogista, joten edellä mainittu ongelma ei vaikuttanut tulosten käsittelyyn. Aineiston analyysissä käytettiin litteroidun aineiston lisäksi myös alkuperäisiä videoita.

4.2. Argumenttien luokittelu

Litteroinnin jälkeen aineisto luokiteltiin Toulminin argumentaatioteorian avulla. Luokittelu aloitettiin etsimällä litteroidusta aineistosta opettajien väitteet. Väitteiden tunnistamisessa tarpeelliseksi osoittautui pohjatieto peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmista, sekä lukion kurssien aihepiireistä. Tämä siksi, että väitteiksi ei luokiteltaisi asioita, jotka opettaja jo olettaa oppilaiden osaavan peruskoulun tai aikaisempien oppituntien pohjalta. Sama väite saattoi myös esiintyä aineistossa useamman kerran. Useaan kertaan esiintyneistä väitteistä on noteerattu vain ensimmäinen. Väitteiden etsinnässä käytettiin apuna myös oppitunneista kuvattuja videoita, koska osa väitteistä ei ollut suullisia, ja eivät siten tulleet esiin litteroinnissa. Tällaisia olivat esimerkiksi kuvat sähkökentistä tai kirjalliset väitteet, joita opettaja ei toistanut suullisesti.

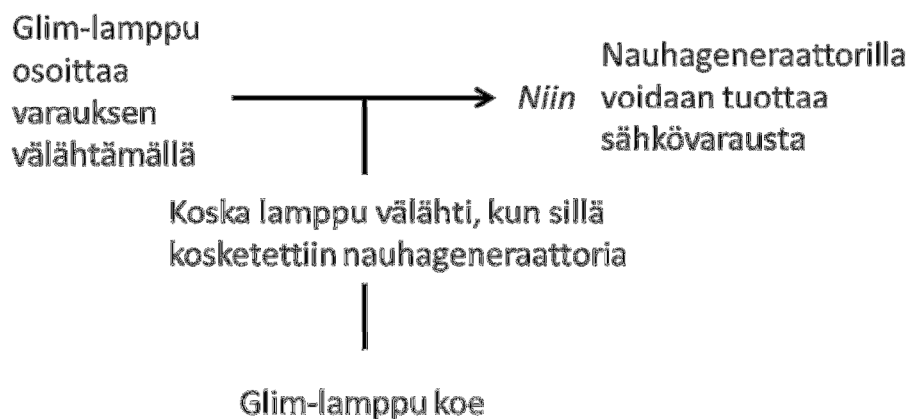
Väitteiden tunnistaminen aineistosta on tulosten tarkastelun kannalta tärkein vaihe. Joskus väitteen tunnistaminen aineistosta vaatisi kuitenkin tietoa opettajan omasta ajatustyöstä ja tarkoituksista. Seuraavan esimerkin avulla on pyritty osoittamaan argumenttien tulkinnanvaraisuus ja toisaalta tekemään näkyväksi analyysin takana olevaa päättelyä.

Opettaja A: Sitte meillä on täällä tämmösiä glim-lamppuja.
Näilläkin voi varauksen osottaa.
Tää toimii kunnolla pimeässä.
Esimerkiks jos mä varaan tän nauhageneraattorin.. Nyt on siitä häipyny virta...
Noin. Mä sammutan hetkeks valot.
Se ei välttämättä nyt sinne taakse näy.
Eli pitäs nähdä tän lampun välähtäminen.
Nyt se varaus siirtyy jo ilman läpi.
Näätte tämän lampun se pää mitä minä kosketan välähtää
eli tosta ilman läpi hyppää varausta tänne.
Ja tällä voidaan tällä glim-lampulla osoittaa, että kappale on sähköisesti
varautunut.

Hyvä, pistäkää valot takasin.
Eli hohtolamppu, glim-lamppu...
ja silläkin voidaan osoittaa varausta.
Pistän tosta muutaman kiertämään.

Tämä itte laite tässä pöydällä on nauhageneraattori.
Tämä perustuu siis täysin puhtaasti hankaussähköön.
Eli tää nauha pyörii tässä keskellä.
Tuolla alhaalla on tommonen kampa joka hankaa sitä
ja silloin tää kupu varautuu sähköisesti.
Ja nyt te voitte nähä varautumisen ilmiönä.

Esimerkissä voi nähdä olevan kaksi mahdollista väitettä: *"Näilläkin [glim-lampuilla] voi varauksen osottaa,"* tai *"Kappale [nauhageneraattori] on sähköisesti varautunut."* Vaihtoehtoiset argumentit on esitetty kuvissa 3 ja 4 Toulminin argumentaatiokaavioon kirjoitettuna. Tarkastellaan argumenttia olettaen ensin, että väitteenä on glim-lamppujen varauksenosoittamiskyky. Tällöin lähtötietona voidaan nähdä olevan lauseen *"Esimerkiks jos mä varaan tän nauhageneraattorin."* Tiedetään siis, että tutkitaan sähköisesti varattua kappaletta. Perusteluna lampun kyvylle osoittaa, onko kappale sähköisesti varautunut, on se, että lamppu reagoi sähköisesti varatun kappaleen lähellä. Taustatukena perustelulle toimii koe, jossa lamppu välähtää. Perustelu pohjaa siis kokeesta saatuun havaintoon. Glim-lamppuesimerkissä väitettä seuraavat lähtötieto ja perustelu (sekä taustatuki). Jos väitteeksi valitaan se, että nauhageneraattorilla voidaan tuottaa sähkövarausta, eli nauhageneraattori voidaan varata, toimii glim-lamppuesimerkin väite lähtötietona. Perustelu ja taustatuki pysyvät argumentissa samana. Nauhageneraattoriargumentin rakenne on siis lähtötieto, perustelu (sekä taustatuki) ja väite. On olemassa glim-lamppu, joka osoittaa sähköisen varauksen välähtämällä. Koska nauhageneraattorin lähelle tuodessa glim-lamppu välähti, on nauhageneraattori sähköisesti varautunut. Väitteistä on valittava kuitenkin vain toinen, koska ne toimivat lähtötietoina toinen toisilleen. Kumpaakaan väitettä ei siis voi perustella, jos toista väitettä ei oleteta tunnetuksi.



Kuva 3: Argumentti nauhageneraattorista Toulminin kaavioon kirjoitettuna



Kuva 4: Argumentti Glim-lampusta Toulminin kaavioon kirjoitettuna

Glim-lamppuväitteen valitsemista tukee se, että opettaja mainitsee alussa *"varaavansa"* nauhageneraattorin. Lisäksi glim-lampun toiminta vaikuttaa tärkeältä, koska lamput laitetaan kiertämään luokassa. Opettaja kuitenkin heikentää väitettä mainitsemalla ennen varsinaista koetta, että *"pitäs nähdä tän lampun välähtäminen"*. Tämä viittaa siihen, että glim-lampun toiminta oletetaan tunnetuksi, eikä sitä siis olisi tarpeen perustella. Maininta nauhageneraattorin *"varaamisesta"* puolestaan heikentää generaattoriargumenttia. Jos tiedetään, että nauhageneraattori varautuu, niin miksi se pitäisi osoittaa? Tämän väitteen valitsemista tukee kuitenkin aikaisemmin mainittu oletus siitä, että tiedetään, miten glim-lamppu toimii, sekä argumenttia seuraava nauhageneraattorin toimintaperiaatteen tarkastelu. Jotta tiedettäisiin kumpaa asiaa opettaja haluaa perustella, sitä pitäisi kysyä opettajalta itseltään. Mahdollisesti opettajan tarkoitus oli demonstroida molempien laitteiden toiminta samanaikaisesti. Analyysissä väitteeksi on valittu *"Kappale [nauhageneraattori] on sähköisesti varautunut,"* koska nauhageneraattorilla oli keskeinen osa opettajan jatkossa tekemissä demonstraatioissa. Glim-lamppuja ei sen sijaan mainittu uudelleen aineistossa. Väitteeksi on siis valittu vaihtoehdoista opetuksen kannalta oleellisempi.

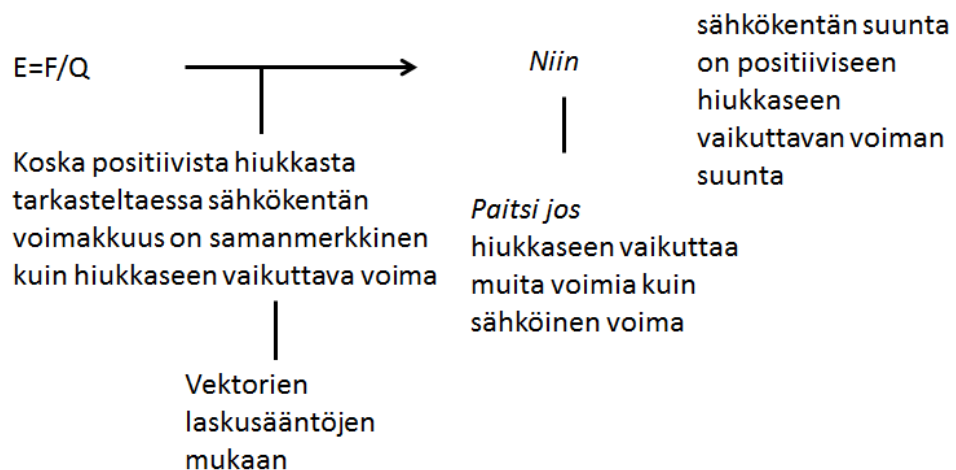
Väitteiden löytymisen jälkeen pyrittiin aineistosta tunnistamaan niihin mahdollisesti liittyvät muut argumenttien osat. Tässä haasteelliseksi osoittautui argumenttien kesto. Esimerkiksi lähtötieto ja väite saattoivat olla aineistossa kymmenen minuutin päässä toisistaan. Argumenttien osien luokitteluvaiheessa ei myöskään otettu kantaa argumenttien sisältöön. Esimerkiksi aikaisemmin väitteenä esiintynyt tieto luettiin seuraavalle väitteelle lähtötiedoksi, vaikka sen perusteluissa olisi ollut puutteita. Osien luokittelussa on noudatettu taulukkoon 3 kirjattuja periaatteita. Lähtötiedon on mainittu olevan jokin selkeästi havaittava tai aikaisemmin perusteltu asia, mutta kuten aikaisemmin tässä luvussa todettiin, ei luokitteluvaiheessa ole otettu huomioon sitä, onko lähtötiedon perustelu ollut riittävä vai ei. Perustelu liittyy lähtötiedon ja väitteen toisiinsa, joten sillä on aina oltava yhteys molempiin. Taustatuki antaa pohjan perustelulle, joten ne liittyvät tiiviisti toisiinsa. Taustatuen tehtävä on aina toimia yhdessä perustelun kanssa, ei koskaan irrallisena argumentin osana. Taustatukena ei voi esimerkiksi toimia alkuperäisen perustelun kanssa rinnakkainen perustelu.

Taulukko 3: Argumentin osien määritelmät

Argumentin osa	Määritelmä
Väite	Uusi tieto, joka ei ole määritelmä, ja joka ei seuraa triviaalisti aikaisemmasta tiedosta. Esim. lause ”Johteessa elektronit pääsevät liikkumaan helposti” ei ole väite, koska se on suoraan johteen määritelmä. Sen sijaan esimerkiksi seuraavat voivat olla väitteitä: ”Kahden varauksen välinen voima on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön.” ”Kondensaattorin välissä on homogeeninen sähkökenttä.”
Lähtötieto	Selkeästi havaittava (esimerkiksi kappale on metallia/ kappaleiden välimatkaa kasvatetaan) tai aikaisemmin perusteltu asia, jonka varaan väite rakennetaan.
Perustelu	Liittää lähtötiedon ja väitteen toisiinsa. (Koska lähtötieto ja perustelu, niin väite.) Esim. ”Koska varaus pääsee helposti liikkumaan johdekappaleessa (lähtötieto) ja samanmerkkiset varaukset pyrkivät mahdollisimman kauas toisistaan (perustelu), niin johdekappaleessa varaus on pinnalla.”
Taustatuki	Antaa pohjan perustelulle ja määrittelee perustelun uskottavuuden. Esim. demo, analogia, periaate tai laki (Newtonin lait/säilymislait)
Varaus	Todennäköisyys, jolla väite on tosi. Esim. ”todennäköisesti” tai ”lähes varmasti”
Vastaväite	Ilmaisee rajat, joiden puitteissa väite pätee. Esim. ”tarkasteltaessa tilannetta klassisen fysiikan kannalta” tai ”kun hiukkaseen ei vaikuta muita voimia”

Tarkastellaan seuraavan aineistosta poimitun esimerkin avulla argumenttien luokittelua Toulminin teorian avulla. Esimerkissä mainitulla määritelmällä tarkoitetaan sähkökentän voimakkuuden määritelmää (sähkökentän voimakkuus on hiukkaseen vaikuttava voima jaettuna hiukkasen varauksella), mikä on käsitelty aikaisemmin oppitunnilla. Kuvassa 5 on opettajan argumentti Toulminin argumentaatiokaavioon kirjoitettuna. Kaavioon on lisätty myös keksitty vastaväite, jotta sen käytöstä saisi paremman kokonaiskuvan.

Opettaja B: Ku me katotaan tätä määritelmää, niin jos meillä on positiivinen hiukkanen tässä, niin silloinhan me jaetaan toi voima jaetaan plusmerkkisellä luvulla. Kun vektori jaetaan plusmerkkisellä skalaarilla, ni saadaan vektori, joka on samansuuntainen kuin tuo alkuperäinen vektori. Eikö niin? Toisinsanoen jos hiukkanen joka siellä kentässä on, jos se on positiivinen, niin silloin voima on kentän suuntainen. Ja kentän suunta on toisin sanoen sama kuin sellainen voima, joka kohdistuu positiivisesti varattuun hiukkaseen.



Kuva 5: Esimerkki Toulminin argumentaatioteorian soveltamisesta. Opettajan B argumenttiin on lisätty vastaväite.

Opettajan tarkoituksena on osoittaa, miten sähkökentän suunta määräytyy, joten väitteeksi on valittu lause "Ja kentän suunta on toisin sanoen sama kuin sellainen voima, joka kohdistuu positiivisesti varattuun hiukkaseen." Lähtötietona toimii aikaisemmin oppitunnilla käsitelty sähkökentän voimakkuuden määritelmä. Lähtötiedon ja väitteen yhdistää perustelu "jos meillä on positiivinen hiukkanen tässä [lausekkeessa $E=F/Q$], niin silloinhan me jaetaan toi voima jaetaan plusmerkkisellä luvulla". Taustatukena perustelulle voidaan katsoa olevan vektorien laskusääntöjen tarkastelu, jonka mukaan positiivisella skalaarilla jaettu vektori säilyttää suuntansa. Vektorien laskusääntöihin viittaaminen esimerkissä antaa tukea sille, että positiivisesti varattua hiukkasta tarkasteltaessa hiukkaseen vaikuttavaa voimaa ja kentän voimakkuutta kuvaavien vektorien suunnat ovat samat. Opettajan argumentista puuttuvat Toulminin

argumentaatioteoriassa mainitut varaus ja vastaväite. Esimerkin tapauksessa vastaväitteenä voisi toimia lause ”jos hiukkaseen ei vaikuta muita voimia kentän aiheuttaman voiman lisäksi”, sillä kyseisessä tilanteessa kentän suunta ei välttämättä enää ole sama kuin hiukkaseen vaikuttavan voiman suunta.

4.3. Multimodaalisuus

Erilaisten moodien käyttö opetuksessa riippuu muun muassa opetettavasta aineesta, oppitunnin aiheesta sekä opettajan opetustyylistä. Jokaiselle oppiaineelle on kehittynyt omat ominaiset moodinsa, ja siksi moodeja tulisikin tarkastella aina kontekstikohtaisesti. Esimerkiksi kielten opetuksessa ei olisi tarkoituksenmukaista tarkastella demonstraatioita tai matemaattisia malleja omina moodeinaan, mutta kielellisiä moodeja voisi olla laajempi valikoima kuin fysiikan oppitunneilla (esimerkiksi opettajan puhe/nauhalta tuleva puhe). Tässä tutkimuksessa modaliteetit on jaettu neljään ryhmään: kielelliseen, matemaattiseen, visuaaliseen ja toiminnalliseen. Kullekin modaliteetille ominaiset moodit on lueteltu taulukossa 4. Jaottelun pohjalla on käytetty löyhästi Prainin ja Waldripin (2006) jaottelua. Koska analysoitavat oppitunnit olivat täysin luentomallisia, on tarkastelusta jätetty pois oppilaisiin viittaavat moodit kuten oppilastyöt. Käytetyt moodit on siis valittu analyysiin sillä perusteella, että ne ovat esiintyneet oppitunneilla. Koska aineisto on suhteellisen pieni, ja tarkoituksena ei ole tutkia minkään yksittäisen modaliteetin käyttöä, valitut moodit ovat melko yleisluontoisia. Jos haluttaisiin tutkia tarkemmin esimerkiksi matemaattisen modaliteetin käyttöä oppitunneilla, tulisi matemaattiset moodit erotella tarkemmin toisistaan. Tai mikäli tutkittaisiin opettajan eleitä, tulisi eleet-moodin sijasta käyttää useampaa moodia, jotka viittaavat siihen, minkälainen ele on kyseessä.

Taulukko 4: Tutkimuksessa käytetyt modaliteetit ja moodit

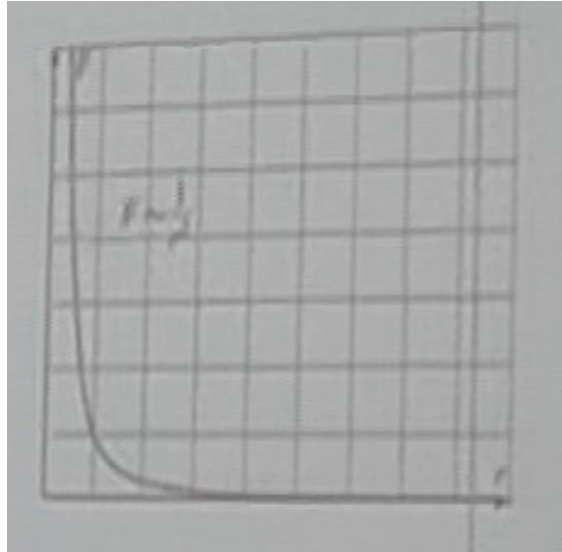
Modaliteetti	Moodit
Kielellinen	- Puhe - Teksti
Matemaattinen	- Laskut/kaavat/matemaattiset mallit
Visuaalinen	- Kuvat - Simulaatiot - Esineet (konkreettiset mallit)
Toiminnallinen	- Eleet - Demonstraatiot

Toulminin argumentaatioteorian avulla luokitellusta aineistosta on pyritty tunnistamaan kutakin argumentin osaa dominoiva moodi. Dominoivalla moodilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa moodia, jota ilman opettajan viestiä ei voisi ymmärtää. Esimerkiksi demonstraation tapauksessa on selvää, että mikäli demonstraatio ei olisi nähtävissä, katoaisi todella suuri osa informaatiosta. Tämä siinäkin tapauksessa, että kaikki muut opettajan demonstraation aikana käyttämät moodit olisivat saatavilla. Dominoivia moodeja voi myös olla useampi kuin yksi. Esimerkiksi jokin esine saattaa tarvita avukseen puheen, jotta sen käyttötarkoitus avautuisi viestin vastaanottajalle.

4.4 Episteemisyyys

Argumenttien rakenteen ja käytettyjen moodien lisäksi on tutkittu myös argumenttien fysikaalista pätevyyttä. Tähän on käytetty apuna luvussa 2.3. käsiteltyä Nousiaisen (2012) neliportaista mallia. Nousiaisen malli on tehty alunperin kirjallisten käsitekarttatöiden tutkimiseen, mutta se soveltui sellaisenaan myös argumenttien analyysiin. Yhtenä pätevyyden kriteerinä mallissa on, että käsitteiden ja lakien linkittämisessä on käytettävä siihen soveltuvia kokeita tai malleja. Tämä voi toteutua vain, mikäli argumentti sisältää perustelun ja taustatuen. Tässä osiossa argumenteista on siis tarkasteltu vain niitä, jotka sisältävät lähtötiedon, perustelun, taustatuen ja väitteen. Varauksen ja vastaväitteen puuttumisen ei ole katsottu automaattisesti vähentävän argumentin pätevyyttä. Aikaisemmissa tutkimuksissa (esim. Osborne ym., 2004), joissa vastaväitteille on annettu suuri painoarvo, on tutkittu yksittäisten argumenttien sijaan argumentointia. Tällöin vastaväitteiden esiintyminen on huomattavasti todennäköisempää kuin yksittäisen argumentin tapauksessa. Tarkastellaan seuraavaksi argumenttia, joka ei täytä mainittua ehtoa metodologisuudesta. Argumenttia ennen opettaja on näyttänyt kaavan kahden varatun hiukkasen välisen voiman laskemiseksi ja perustellut, miksi voima on verrannollinen hiukkasten varausten tuloon. Seuraavaksi opettaja pyrkii osoittamaan voiman olevan kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön kuvaajan avulla. Opettajan käyttämä kuvaaja on esitetty kuvassa 6.

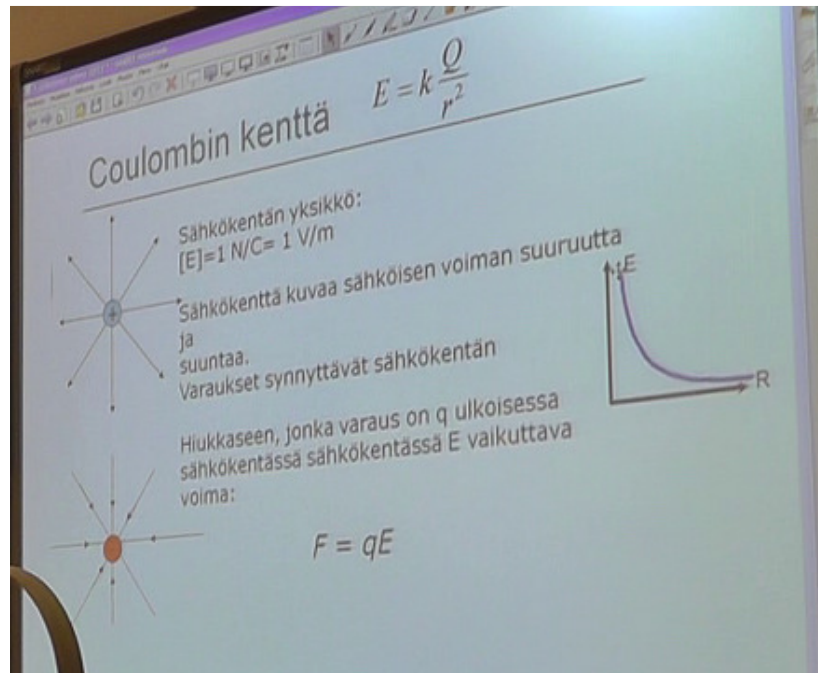
Opettaja A: Ja nytten, tässä [kuva 6] näkyy tää $1/R^2$ riippuvuus, eli huomatkkaa, etäisyyden kymmenkertaistuessa voima tippuu sadanteen osaan.
Eli tää käyrä tippuu alas kuin lehmän häntä.
Eli sähkösen Coulombin voiman riippuvuus on $1/R^2$, se on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön.



Kuva 6: Esimerkissä mainittu kuvaaja, x-akselilla etäisyys ja y-akselilla voima

Kuvan 6 käyrä kyllä esittää funktiota $1/x^2$, mutta opettaja ei anna minkäänlaista selitystä sille, mistä mittaustuloksista kuvaaja on saatu. Kuvaaja ei siis välttämättä liity lainkaan sähköiseen vuorovaikutukseen kahden varauksen välillä. Varattujen hiukkasten välisen voiman ja etäisyyden yhteys toisiinsa on tunnistettu, mutta käsitteitä ei ole linkitetty toisiinsa millään kokeella tai mallilla. Jotta argumentti täyttäisi pätevyyden ehdot, olisi opettaja voinut itse tehdä jokin koesarjan, näyttää valmiin demon videolta, käyttää simulaatiota tai kertoa historiaa Coulombin tekemistä mittauksista.

Argumentit, jotka lähtötiedon, perustelun ja väitteen lisäksi sisältävät taustatuen, eivät silti automaattisesti täytä tieteellisen argumentin pätevyysvaatimuksia. On myös katsottava, että argumentissa on käytetty oikeaa ontologiaa ja tietoja, ja että argumentti on looginen. Luvun 4.2. glim-lamppu/nauhageneraattori –esimerkissä on käytetty koetta nauhageneraattorin varauksen osoittamiseksi, ja se täyttää kolme ensimmäistä sisältövaatimusta. Argumentti ei kuitenkaan ole fysikaalisesti pätevä, koska se ei onnistu täyttämään viimeistä kohtaa argumentin loogisuudesta. Tarkoituksena on osoittaa, että nauhageneraattori on varattu, mutta opettaja sanoo ennen koetta varaavansa generaattorin. Opettajan omien ennakkotietojen julkituominen siis tässä tapauksessa heikentää argumenttia.



Kuva 7: Opettajan A dia pistevarausten sähkökentistä

Joissain tapauksissa myös argumentin pätevyysehtojen pois jättäminen voi heikentää argumenttia. Kuvassa 7 on opettajan A käyttämä dia pistevarausten sähkökentistä. Tunnilla opettaja perustelee pistevarauksen muodon täysin järkevästi käyttämällä sähkökentän voimakkuuden määritelmää ja Coulombin lakia. Kaikki tunnilla esitettävät kuvat pistevarauksen kentästä ovat kuitenkin kaksiulotteisia. Kaksiulotteiset kentän mallit eivät suoraan kerro sähkökentän voimakkuutta, koska kenttäviivojen tiheys pienenee etäisyyden funktiona, ei etäisyyden neliön funktiona. Opetuksesta ei käy ilmi, että käsiteltävät kaksiulotteiset kuvat kentistä ovat vain havaintomalleja, ja että kenttäviivat kertovat kentän oikean suuruuden vain kolmiulotteisen mallin tapauksessa. Opettajalla itsellään on varmasti mielikuva kolmiulotteisesta kentästä, mutta opiskelijoille tämä ei välttämättä ole selvää. Vaikka oppitunnilla on käsitelty myös kolmiulotteisia varattuja kappaleita (kuten johdepallot), on argumentissa käytetty samanaikaisesti kahta eri ontologiaa.

Tässä luvussa käsiteltyjen kolmen esimerkin lisäksi argumentti voi olla epäpätevä myös, jos siinä käytetyt tiedot eivät ole fysikaalisesti oikein. Tällaisia argumentteja ei kuitenkaan esiintynyt aineistossa. Seuraavassa esimerkissä opettaja perustelee oppilaille pistevarauksen kentän (Coulombin kentän) suuruuden. Aikaisemmin tunnilla on käsitelty Coulombin laki ja sähkökentän määritelmä. Näistä molemmat lukevat argumentin aikana taululla. Argumentti on esitetty Toulminin kaavion avulla kuvassa 8.

Opettaja B: Jos me katotaan tätä Coulombin lakia täällä ja ajatellaan, että tää Q_1 on sen hiukkasen varaus joka siellä kentässä on ja Q_2 on hiukkasen synnyttämä...sen kentän synnyttäjähiukkasen varaus.

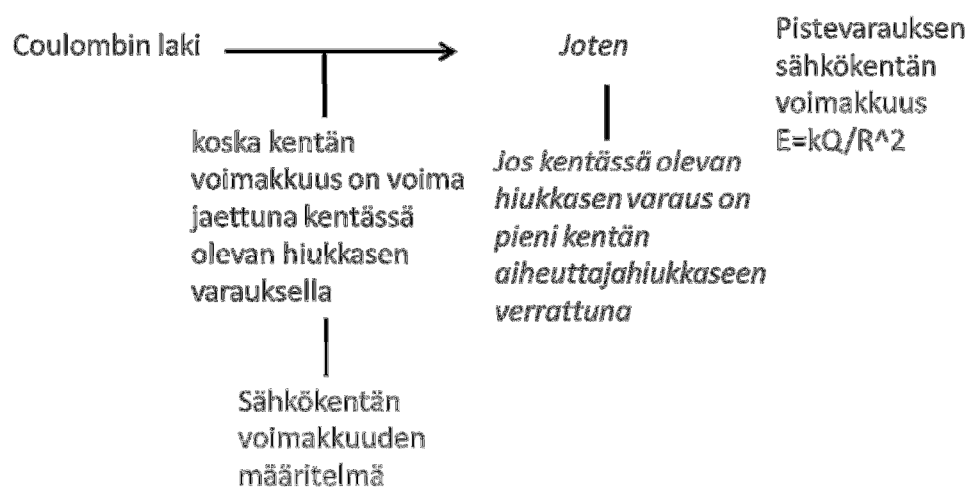
Niin jos me jaetaan sitten tää voima tuolla Q_1 :llä, niin sillonhan me saadaan tästä että toi k kertaa Q_2 per R toiseen. [Taululle $E=F/Q_1=kQ_2/R^2$]

Ja tää on nyt semmonen kenttä joka.. Joka tuota...on Coulombin kenttä.

Hiukkasen ympärille syntyvän sähkökentän voimakkuus saadaan tästä lausekkeesta.

[...]

Se testivaraus ajatellaan et se on niin heikko se varaus verrattuna siihen kentän voimakkuuteen, et se ei merkittävästi muuta sitä kentän muotoa.



Kuva 8: Opettajan B argumentti Coulombin kentästä

Argumentissa käytetyt käsitteet sekä lait ovat tarkoituksenmukaisia ja fysikaalisesti oikeita. Lisäksi väitteen perustelussa on käytetty apuna matemaattista mallia. Argumentti etenee loogisesti lähtötietojen ja perustelun kautta väitteeseen ja ottaa huomioon myös väitteen pätevyys ehdot. Se siis täyttää kaikki fysikaaliselle pätevyydelle asetetut ehdot. Tarkasteltujen esimerkkien avulla on pyritty avaamaan argumenttien fysikaalisen pätevyyden arviointiin käytettyä menetelmää, jotta lukijan olisi helpompaa arvioida tulosten luotettavuutta. Tulosten luotettavuuteen paneudutaan vielä tarkemmin seuraavassa luvussa.

4.5. Tulosten luotettavuus

Laadullisissa tutkimuksissa suuri epävarmuustekijä on tutkijan objektiivisuus. Tuomen ja Sarajärven (2002) mukaan objektiivisuutta tarkasteltaessa on erotettava toisistaan havaintojen luotettavuus ja niiden puolueettomuus. Puolueettomuudessa kyse on siitä, suodattuvatko tiedot tutkijan oman kehysten läpi, eli vaikuttavatko havaintoihin esimerkiksi tutkijan ammatti, ikä tai sukupuoli. Tuomen ja Sarajärven mukaan näin väistämättä aina on. Havaintojen luotettavuuteen sen sijaan pystyy vaikuttamaan. Toulminin argumentaatioteoria ei valitettavasti ole luotettavuuden kannalta ihanteellisin. Teorian soveltamisessa ongelmana on, että väitteet,

lähtötiedot, perustelut ja taustatuet voidaan joskus valita usealla eri tavalla (Erduran ym., 2004; Sampson & Clark, 2008). Tätä on käsitelty myös luvussa 4.2. Tutkijan omat näkemykset siitä, mitä luetaan argumentin eri osiksi, vaikuttavat siis aineiston luokitteluun. Joissain tutkimuksissa ongelmaa on pyritty korjaamaan nimittämällä lähtötietoa, perustelua ja taustatukea jollakin yhteisellä nimikkeellä (Sampson & Clark, 2008). Kyseisessä ratkaisussa menetetään kuitenkin paljon tietoa argumenttien rakenteesta. Tässä tutkimuksessa luotettavuutta on pyritty parantamaan tekemällä argumenttien luokittelu mahdollisimman läpinäkyväksi. Tutkimus sisältää paljon aineistosta poimittuja esimerkkejä sekä selostuksia tutkimuksen tekijän päättelyketjuista. Täten lukijan on mahdollista itse arvioida havaintojen luotettavuutta. Kaikki opettajien argumentit on myös liitetty tutkimukseen (liitteet A ja B).

Argumenttien multimodaalisuus aiheuttaa omat haasteensa esimerkkien esittämiseen. Pozzer-Ardenghin (2007) mukaan moodit tulee tutkimuksissa esittää järkevässä muodossa. Esimerkiksi eleistä saa paremman käsityksen, jos ne on esitetty kuvina, kuin jos ne olisi selitetty kirjallisesti. Koska vaikkapa demonstraatioista ei voida liittää videoita tutkimukseen, on niitä pyritty selventämään tekstin lisäksi kuvallisesti. Myös opettajan esimerkeissä käyttämistä kuvista on liitetty kuvakaappaukset tutkimukseen.

Muita tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa aineiston keruumenetelmä, ja se, voidaanko kerätyn aineiston avulla vastata tutkimuskysymyksiin. Tuomen ja Sarajärven (2002) mukaan havainnointiin perustuva aineistonkeruumenetelmä on tarkoituksenmukaisin, kun tutkimuskohteena on vuorovaikutuskäyttäytyminen. Argumentoinnissa kyse on nimenomaan vuorovaikutustilanteesta, ja siksi tämän tutkimuksen aineistona käytetyt videot tavallisista ohjeistamattomista oppitunneista antavat hyvän pohjan opettajien argumentoinnin tutkimiselle. Tutkimuksen tekijä ei ole tavannut opettajia tai lukenut opettajien taustatietoja ennen havaintojen tekemistä. Koska tutkittavia opettajia oli vain kaksi, ei tuloksista voi tehdä suuria yleistyksiä fysiikan opettajien argumentoinnista. Tutkimuskysymyksiin vastaamalla saadaan kuitenkin osviittaa siitä, millaisia fysiikan opettajien argumentit voivat olla, ja miten niitä olisi hyvä tutkia. Myös oppitunnin aihe voi vaikuttaa argumenttien rakenteeseen. Koska molempien opettajien oppituntien aiheet olivat samat, voidaan opettajien argumentointia vertailla keskenään.

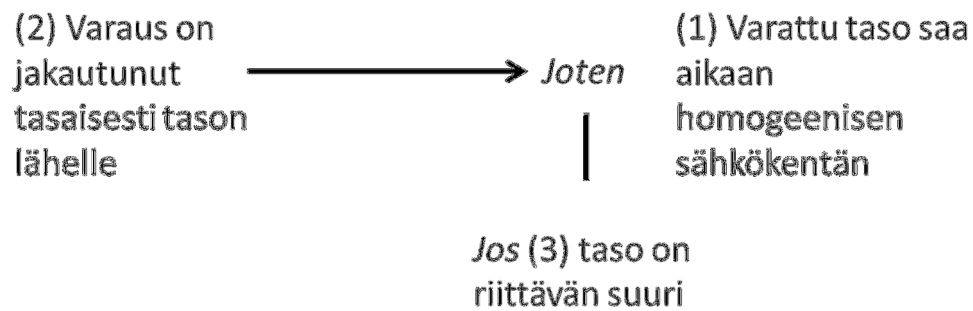
5. Tulokset

5.1. Argumenttien rakenne

Tulosten esittely aloitetaan tarkastelemalla ensin puhtaasti argumenttien rakennetta. Tässä luvussa ei ole siis tehty eroa fysikaalisesti pätevien ja epäpätevien argumenttien välillä. Luvuissa 5.2. ja 5.3. perehdytään tarkemmin argumenttien multimodaalisuuteen ja sisältöön. Aineistossa esiintyi kaikkia Toulminin teorian mukaisia argumentin osia varauksia lukuunottamatta. Argumentit luokiteltiin argumentin osien esiintymisjärjestyksen mukaan opettajakohtaisesti, ja myös pelkät väitteet otettiin huomioon. Tarkastellaan muutaman aineistosta poimitun esimerkin avulla opettajien käyttämien argumenttien rakennetta. Aloitetaan argumentilla, joka sisältää väitteen lisäksi lähtötiedon ja vastaväitteen, mutta ei lainkaan perustelua.

Opettaja B: Homogeeninen sähkökenttä tarkoittaa sitä, että meillä on sähkökentän suunta ja suuruus kaikkialla kentässä sama.
Ja nyt tietysti herää kysymys että miten tällainen homogeeninen sähkökenttä saadaan aikaan, niin vastaan siihen...siihen kohta.
Ja ensimmäinen tällainen tai yksinkertaisin tapa missä tällainen tällainen tyyppinen yksinkertaisin tapa millä tällainen sähkönen kappale se kappale sähköisesti varattu kappale saa sähkökentän aikaan, joka on homogeeninen, on tällainen hyvin suuri varattu taso.
Jos meillä on jakautunu varaus tasaisesti tommosen ison tason lähelle niin sen ulkopuolella kenttä osottaa pois päin siitä tasosta jos se on positiivisesti varattu ja se kenttä on kaikkialla saman suuntainen ja yhtä voimakas.
Eli nyt tässä vaikka on tää kuva on aika pienestä tasosta, niin jotta tää kenttä ois tällainen, niin sen pitäis olla hirvittävän paljon suurempi.

Argumentissa opettaja väittää, että *"sähköisesti varattu kappale [joka] saa sähkökentän aikaan, joka on homogeeninen, on tällainen hyvin suuri varattu taso"*. Tasolla opettaja viittaa kuvaan suorakulmiosta. Väite voitaisiin ilmaista myös muodossa *"Varattu taso saa aikaan homogeenisen sähkökentän."* Esimerkin ensimmäinen lause homogeenisestä sähkökentästä ei sovi väitteeksi, koska se on suoraan homogeenisen sähkökentän määritelmä. Tilanteeseen liittyy myös oletus siitä, että *"meillä on jakautunu varaus tasaisesti tommosen ison tason lähelle"*. Tämä toimii siis argumentin lähtötietona. Argumentista löytyy lisäksi vielä vastaväite, joka asettaa väitteen pätevyysalueen. Lause *"Eli nyt tässä vaikka on tää kuva on aika pienestä tasosta, niin jotta tää kenttä ois tällainen [homogeeninen], niin sen pitäis olla hirvittävän paljon suurempi"* kertoo, että väite pitää paikkansa vain, jos tarkastellaan suurta tasoa. Tason reunoilla sähkökenttä kaareutuu, joten pienellä tasolla ei saada aikaan homogeenista sähkökenttää. Argumentin rakenne on väite/lähtötieto/vastaväite, ja se on esitetty kuvassa 9. Kuvaan on merkitty myös argumentin osien esiintymisjärjestys.

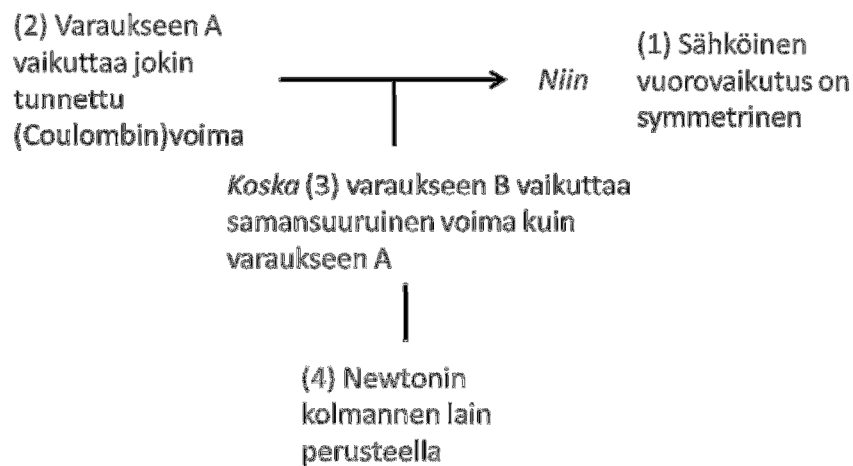


Kuva 9: Opettajan B argumentti homogeenisesta sähkökentästä

Enemmistö opettajien argumenteista sisälsi väitteen, lähtötiedon, perustelun ja taustatuen. Luetellut argumentin osat esiintyivät kuitenkin useassa eri järjestyksessä argumenteissa. Koska näitä argumentteja oli aineistossa eniten, tarkastellaan niitä kahden esimerkin avulla. Ensimmäisessä esimerkissä opettaja on juuri käsitellyt kahden varatun hiukkasen välisen sähköisen vuorovaikutuksen suuruutta, eli Coulombin voimaa, ja jatkaa vuorovaikutusten symmetrisyyden tarkastelulla.

Opettaja A: Tästä unohtu vielä kertoo yks tärkeä ominaisuus,
nimittäin vuorovaikutusten symmetrisyys.
Eli Oppilas X,
jos Coulombin voima vaikuttaa tunnetulla voimalla tähän varaukseen A,
niin se sama vuorovaikutus vaikuttaa yhtä suurella, mut vastakkaissuuntasella
voimalla tähän toiseen palloon B.
Eli nää voimat on aina itseisarvoltaan yhtä suuret.
Newtonin kolmannen lain perusteella.

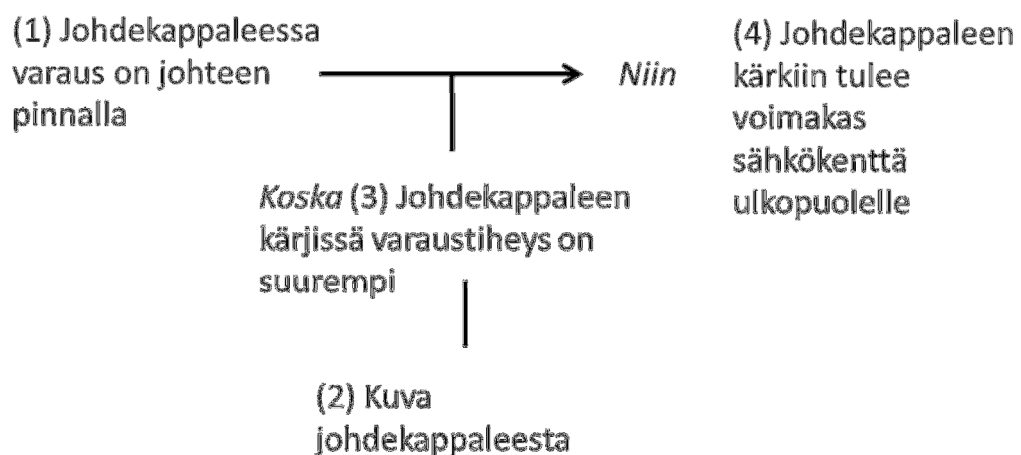
Opettajan väitteenä on *"vuorovaikutusten symmetrisyys"*. Sama asia on toistettu myös lauseessa *"Eli nää voimat on aina itseisarvoltaan yhtä suuret"*, mutta väitteeksi on valittu lause, jossa asia on mainittu ensimmäisen kerran. *"Jos Coulombin voima vaikuttaa tunnetulla voimalla tähän varaukseen A"* asettaa argumentin tarkastelulle alkuehdon, eli toimii argumentin lähtötietona. Lause sopii lähtötiedoksi, koska se on itsestäänselvä asia. Jos päätetään, että kuviteltuun esimerkkivaraukseen vaikuttaa jokin voima, niin ei sitä voi kieltääkään. Perusteluna argumentissa on, että *"sama vuorovaikutus vaikuttaa yhtä suurella, mut vastakkaissuuntasella voimalla tähän toiseen palloon [varaukseen] B"*. Jos voima F vaikuttaa sekä varaukseen A, että varaukseen B, voidaan sanoa, että voimat ovat yhtä suuret. Perustelunsa taustatukena opettaja käyttää Newtonin kolmatta lakia (voiman ja vastavoiman laki). Argumentin rakenne on väite/lähtötieto/perustelu/taustatuki (kuva 10).



Kuva 10: Opettajan A argumentti sähköisen vuorovaikutuksen symmetrisyydestä

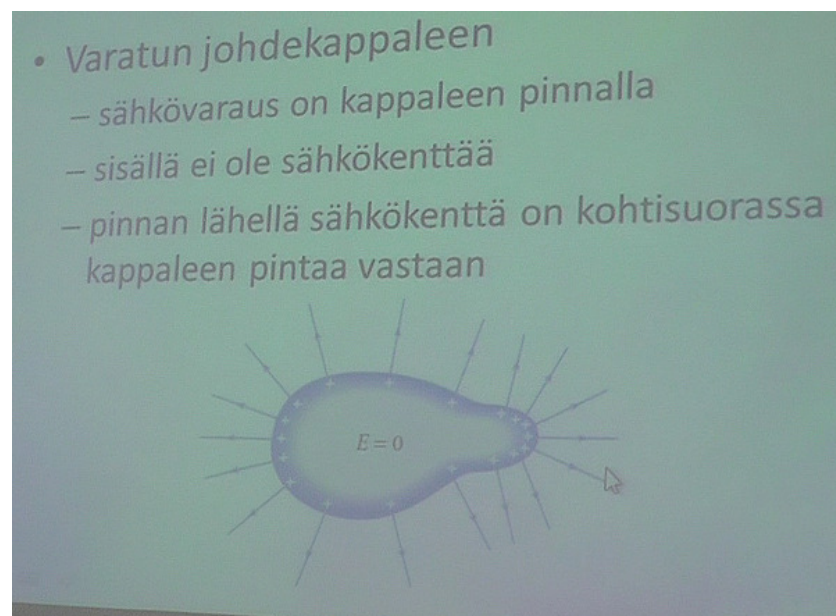
Toisessa esimerkissä opettaja B viittaa "tässä"-sanalla kuvaan epämääräisen muotoisesta johdekappaleesta (kuva 12). Esimerkin argumenttia ennen on perusteltu väitteet "johdekappaleen sisällä ei ole sähkökenttää" ja "johdekappaleessa varaus on johteen pinnalla".

Opettaja B: Ja tässä nähdään myös semmonen asia mitä tuolla luettelossa ei kerrota, on se että kun tää sähkövaraus jakautuu siihen pinnalle, niin tämmösessä jyrkemmissä kaarevissa kohdissa tai terävissä kohdissa tästä seuraa se, että pinnalla, niin ne pinnat on lähempänä toisiaan. Siitä seuraa, että siellä se varaus niinku tietyssä tilassa on suurempi ku täällä missä kaa..kaareutuu loivasti. Ja siitä seuraa, että syntyy tämmösiä tämmösiin kärkiin tulee voimakas sähkökenttä ulkopuolelle.



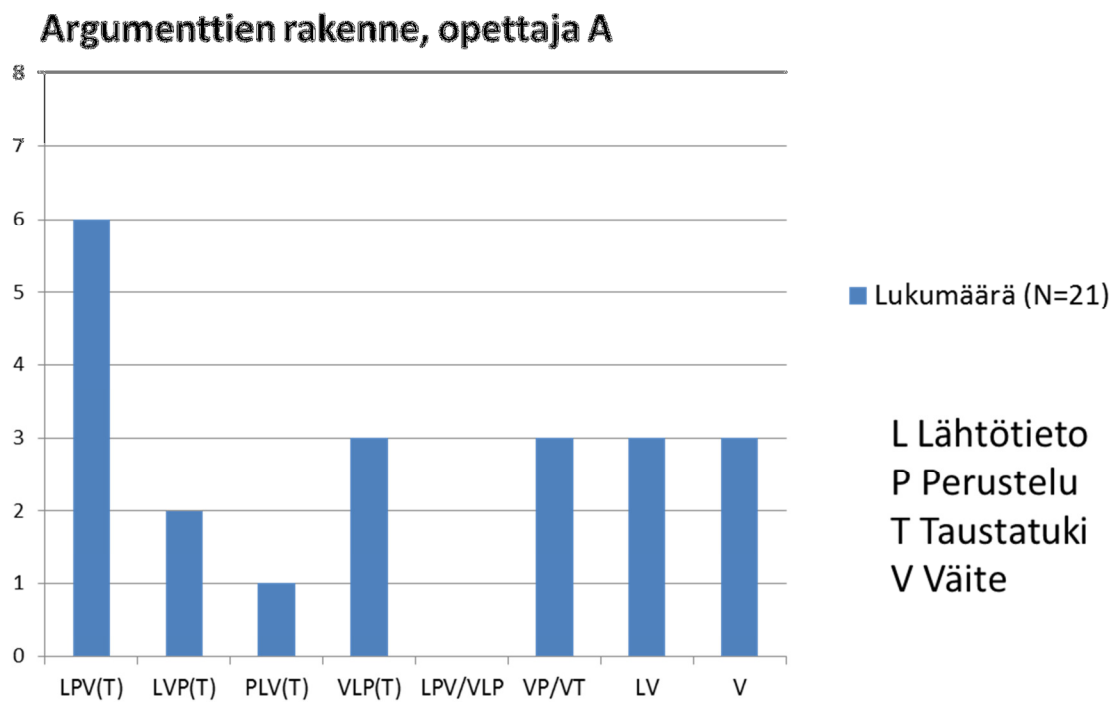
Kuva 11: Opettajan B argumentti johdekappaleen ympärille syntyvästä sähkökentästä

Virkkeellä *"kun [koska] tää sähkövaraus jakautuu siihen pinnalle"* opettaja viittaa aikaisemmin perusteltuun väitteeseen ja asettaa perustan argumentille. Kyseessä on siis lähtötieto. Argumentin väitteeksi on valittu lause *"kärkiin tulee voimakas sähkökenttä ulkopuolelle"*, koska opettajan sanat *"ja siitä seuraa"* viittaavat väitteeseen. Lisäksi argumentin jälkeen opettaja kertoi esimerkkejä tilanteista, joissa terävien kärkien ympärille on ukonilmalla syntynyt voimakas sähkökenttä. Sanomalla *"tästä seuraa"* ja *"sitten seuraa"*, opettaja selventää omaa päättelyketjuaan argumentin vastaanottajalle. Tämän päättelyketjun mukaisesti on taustatueksi valittu opettajan kuvan 12 pohjalta tekemä toteamus, että kärjissä kappaleen pinnat ovat lähempänä toisiaan. Perusteluna on siten *"siellä se varaus niinku tietyssä tilassa on suurempi"*. Lause on sopiva perusteluksi, koska se seuraa lähtötiedoksi ja taustatueksi valituista argumentin osista ja lisäksi yhdistää lähtötiedon ja väitteen järkevästi toisiinsa. Sen sijaan taustatueksi valittu osa ei olisi voinut toimia perusteluna, koska sillä ei ole suoraa yhteyttä lähtötietoon. Argumentin rakenne on lähtötieto/taustatuki/perustelu/väite (kuva 11).

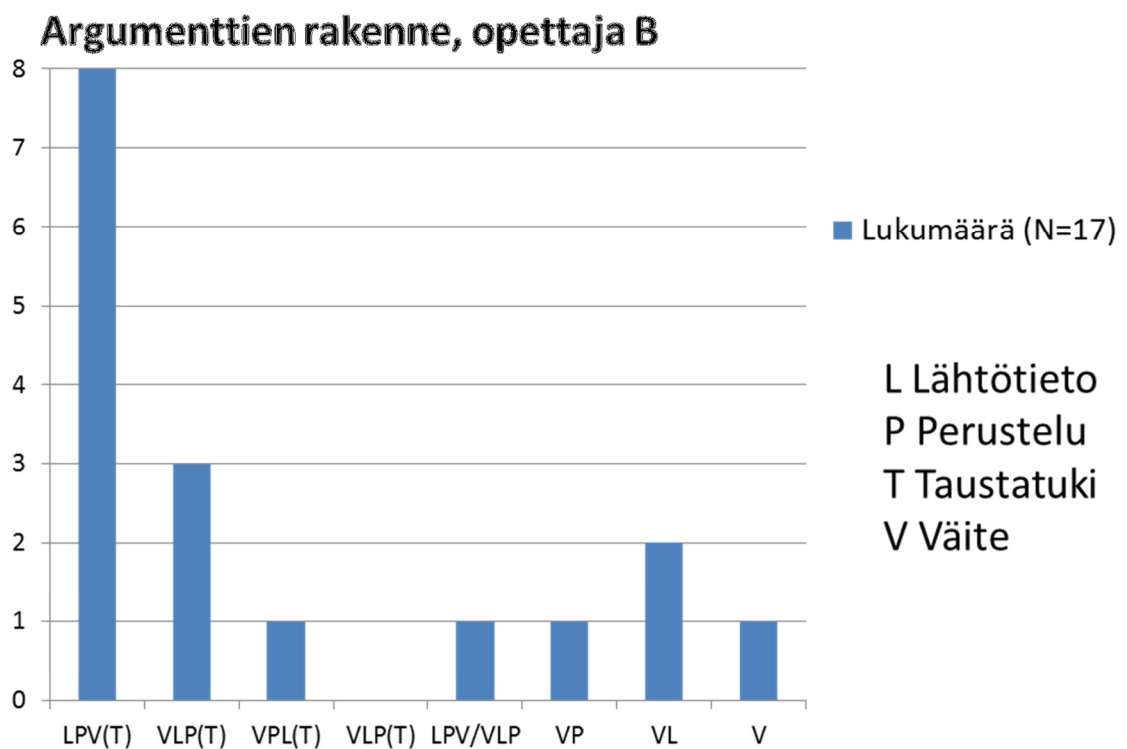


Kuva 12: Opettajan B dia johdekappaleen sähkökentästä

Kuvissa 13 ja 14 on esitetty yhteenveto opettajien käyttämien argumenttien rakenteista. Argumenttien osista on käytetty lyhenteenä kunkin ensimmäistä kirjainta. Argumenttien osat on merkitty kuviin siinä järjestyksessä kuin ne aineistossa esiintyivät. Kuitenkin siten, että neljässä ensimmäisessä palkissa suluissa oleva T tarkoittaa, että taustatuki on voinut sijaita missä tahansa argumentin kohdassa. Esimerkiksi lyhenne LPV(T) tarkoittaa argumentteja, joissa lähtötieto, perustelu ja väite ovat esiintyneet tässä nimenomaisessa järjestyksessä, ja lisäksi argumentissa on ollut taustatuki. Mahdollisia kombinaatioita ovat siis TLPV, LTPV, LPTV ja LPVT. Tämä yhdistely on tehty tulosten lukemisen helpottamiseksi. Vastaväitteitä ei ole merkitty kuvaajiin, koska niitä esiintyi aineistossa yhteensä vain neljä kappaletta.



Kuva 13: Opettajan A argumenttien rakenne



Kuva 14: Opettajan B argumenttien rakenne

Videoituja oppitunteja ensimmäisiä kertoja katsellessa opettajien argumenttien rakenne vaikutti samankaltaiselta. Kuitenkin opettajan B opetusta oli huomattavasti helpompi seurata. Kuten kuvista 13 ja 14 nähdään, tarkemmassa tarkastelussa kävi ilmi, että opettajien argumentointityylit erosivatkin huomattavasti toisistaan. Vaikka molemmat käyttivät eniten väitteitä, joissa lähtötietoa seurasi perustelu ja väite, oli opettajan B argumentointi systemaattisempaa. Siinä missä opettajan B argumenteista lähes puolet noudatti edellä mainittua kaavaa, oli opettajan A argumentointi paljon epäjohdonmukaisempaa.

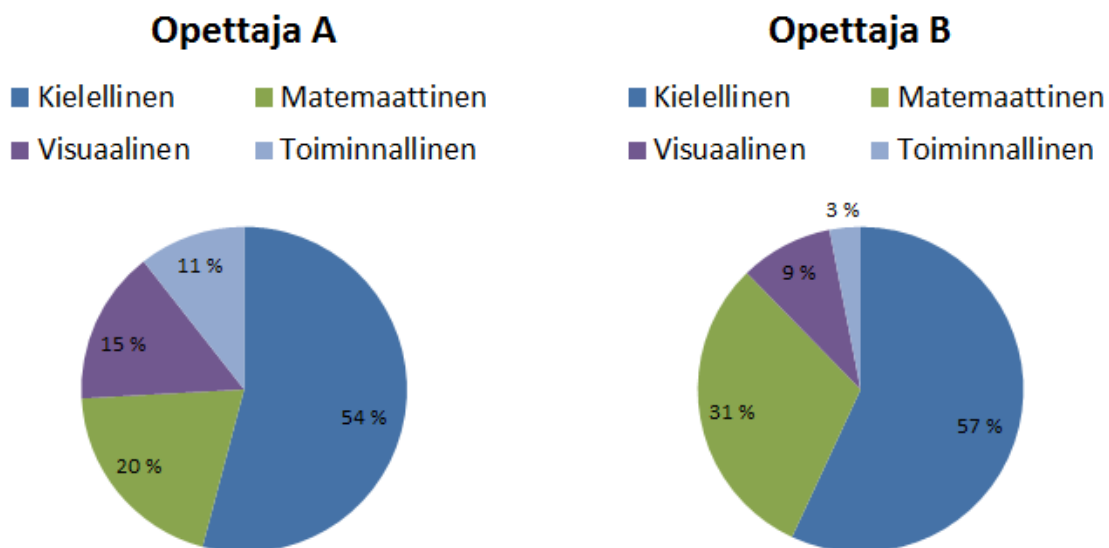
Molemmilla opettajilla esiintyi väitteitä, joita ei perusteltu lainkaan. Näihin lasketaan kaikki argumentit, jotka eivät sisältäneet perustelusta ja taustatuesta kumpaakaan. Kuvista 13 ja 14 on nähtävissä, että opettajalla A 29 % (6/21) väitteistä jäi ilman perustelua ja opettajalla B 18 % (3/17). Näistä väitteistä puoliin opettajat mainitsivat palaavansa ”seuraavassa kurssissa” tai ”myöhemmin”. Perustelematta jätettyjen väitteiden sisällöissä ei ollut havaittavissa mitään johdonmukaisuutta. Lisäksi toisella opettajalla saattoi olla rakenteellisesti hyvä perustelu väitteeseen, joka toiselta oli jäänyt kokonaan perustelematta. Ainut väite, johon kumpikaan opettaja ei esittänyt perustelua, oli sähkökentän voimakkuus kondensaattorilevyjen välissä. Sen sijaan perustelematta jätetyt väitteet sijaitsivat oppituntien loppupuolella.

5.2. Multimodaalisuus argumentoinnissa

Jo argumenttien luokitteluvaiheessa tuli ilmi, että opettajat käyttivät argumenteissaan useita eri moodeja. Kun argumentit ja niiden osat oli tunnistettu aineistosta, tarkasteltiin jokaista osaa yksittäin modaalisuuden näkökulmasta. Oppitunneista kuvatut videot katsottiin läpi, ja kussakin argumentin osassa esiintyneet dominoivat moodit kirjattiin ylös. Taulukossa 4 on nähtävissä opettajien argumenteissaan käyttämät dominoivat moodit. Moodien yhteenlaskettu määrä on suurempi kuin argumenttien osien summa, koska joissakin argumentin osissa dominoivia moodeja oli useampi kuin yksi. Puhetta ja tekstiä ei ole eroteltu toisistaan, koska lähes kaikissa tapauksissa opettaja on lukenut kirjoittamansa tekstin ääneen. Se, kumpi moodi (vai molemmat) on toiminut näissä tilanteissa dominoivana, riippuu siis täysin viestin vastaanottajasta, eli siitä lukiko vai kuunteliko oppilas viestin. Taulukkoon 4 on kuitenkin merkitty tekstin esiintyneen itsenäisenä moodina kaksi kertaa. Näissä tapauksissa samaa viestiä ei ole toistettu suullisesti. Kuvassa 15 on esitetty modaaliteettien suhteellinen osuus opettajien argumenteissa.

Taulukko 4: Dominoivien moodien määrä argumenteissa yhteensä

Modaliteetti	Moodit	OPETTAJA A	OPETTAJA B
Kielellinen	Puhe	44	37
	(Teksti)	2	
Matemaattinen	Laskut/kaavat	17	20
Visuaalinen	Kuvat	10	6
	Simulaatiot	1	
	Esineet (konkreettiset mallit)	2	
Toiminnallinen	Eleet		2
	Demonstraatiot	9	



Kuva 15: Modaliteettien osuus opettajien argumentoinnissa

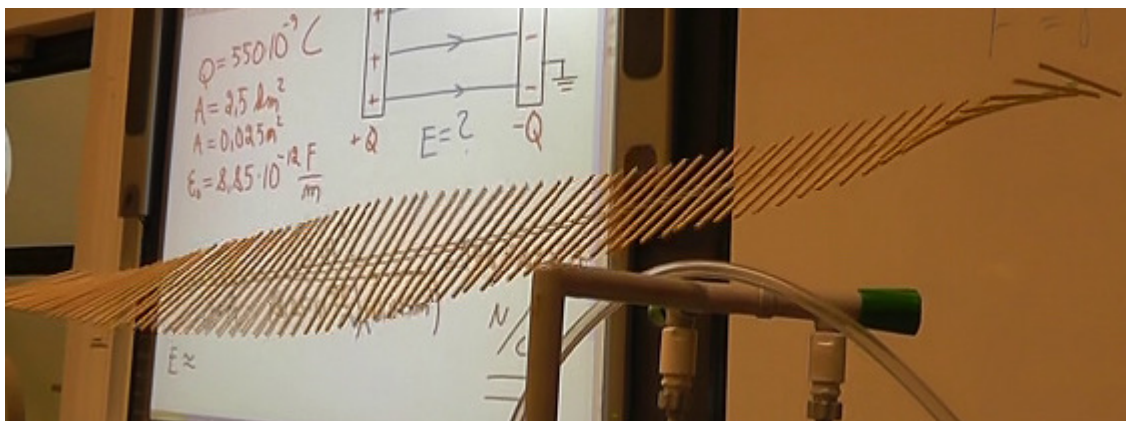
Vaikka kaikki aineiston tunnit olivat luentomallisia, käytettiin niissä paljon eri moodeja. Kuten kuvasta 15 nähdään, oli kielellisen modaliteetin osuus argumentoinnissa vain hieman yli puolet. Alkuperäinen oletus oli, että kielellinen modaliteetti dominoisi argumentointia, ja muita modaliteetteja käytettäisiin lähinnä argumenttien taustatuessa. Tämä oletamus osoittautui oikeaksi kuitenkin vain demonstraatioiden osalta. Taulukkoon 5 on kirjattu matemaattisten, visuaalisten ja toiminnallisten moodien esiintyminen eri argumenttien osissa. Taulukosta nähdään, että matemaattisia moodeja (kaavat, laskut ja mallit) käytettiin tasaisesti kaikissa argumentin osissa. Matemaattisten moodien käytössä oli vielä se erityispiirre, että jos moodia käytettiin jossain argumentin osassa, niin usein sitä käytettiin myös kaikissa muissakin saman argumentin osissa. Argumentti oli siis kokonaan matemaattinen. Matematiikalla on fysiikassa

vahva rooli, ja se näkyy myös fysiikan opettajien argumenteissa. Myös kuvia käytettiin laajasti lähtötiedoissa, perusteluissa ja väitteissä. Simulaatioita, esineitä ja eleitä esiintyi aineistossa niin vähän, ettei niiden roolista argumentoinnissa voida tehdä mitään johtopäätöksiä. Toisaalta simulaatioilla saatetaan opetuksessa korvata demonstraatioita, jolloin niiden rooli olisi nähtävissä lähinnä argumentin taustatukena.

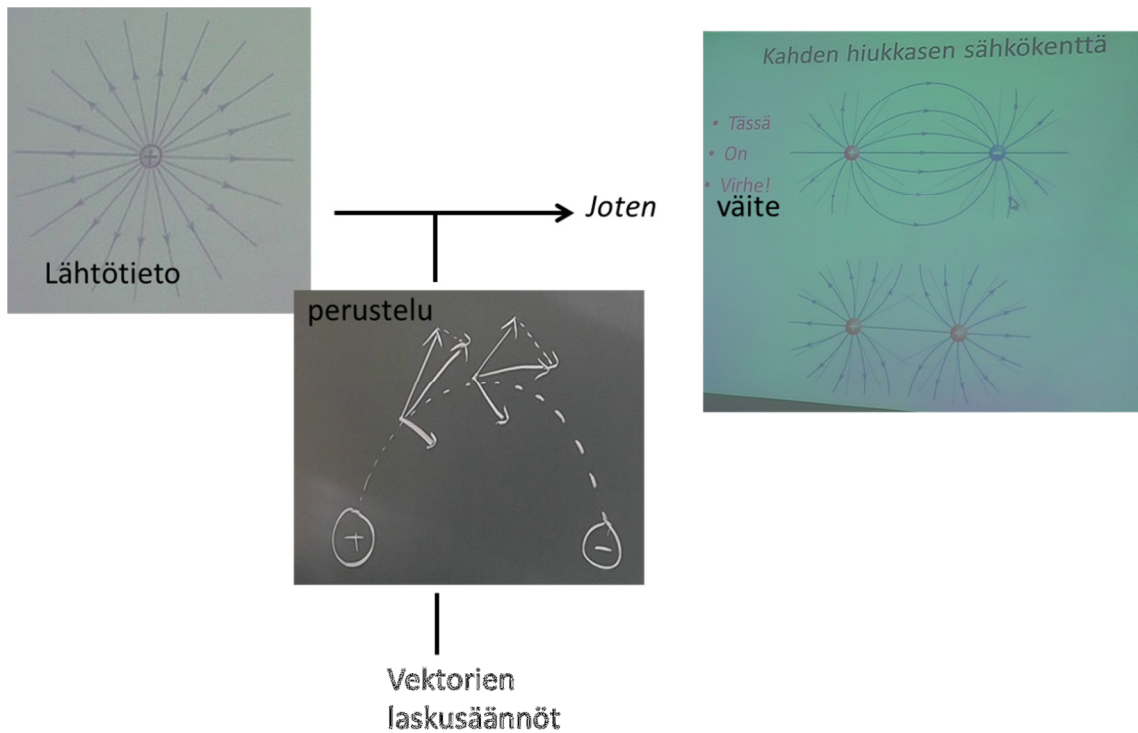
Taulukko 5: Moodien esiintyminen eri argumentin osissa

Moodi	Lähtötieto	Perustelu	Taustatuki	Väite
Matemaattiset	8	8	9	12
Kuvat	3	6	-	7
Simulaatiot	-	-	1	-
Esineet	1	-	-	1
Eleet	1	-	-	1
Demonstraatiot	-	1	8	-

Dominoivaksi merkityt eleet ja esineet esiintyivät aina puheen parina. Itsenäisenä käytettynä niiden tarkoituksen ymmärtäminen olisi hankalaa. Eleiden tapauksessa opettaja kädellään osoitti mihin suuntaan varaus liikkuu sähkökentässä. Esineistä toinen oli pallo, jonka avulla opettaja havainnoillisti potentiaalienergiaa painovoimakentässä, ja toinen puinen aaltodemonstraatiolaite (kuva 16), jota käytettiin väitteessä *”Värähtelevä elektroni synnyttää sähkömagneettista säteilyä.”* Kielellinen modaliteetti ei kuitenkaan aina toiminut jaetussa dominoivassa roolissa, vaan välillä se oli vain tukena muille moodeille. Kuvassa 17 on Toulminin argumentaatiokaavioon sijoitettuna esimerkki tällaisesta argumentista.



Kuva 16: Aaltodemonstraatiolaite



Kuva 17: Opettajan B multimodaalinen argumentti

Kuvan 17 argumentissa lähtötietona toimii kuva pistevarauksen kentän muodosta. Kyseinen kuva toimi väitteenä esimerkkinä edeltävässä argumentissa ja sopii siten lähtötiedoksi käsiteltävään argumenttiin. Yhden pistevarauksen tilanteesta siirryttiin tarkastelemaan kahden pistevarauksen synnyttämän sähkökentän muotoa. Myös väite esitettiin kuvana. Väitteenä argumentissa on siis kuvan 17 mukaisesti dipolikentän muoto. Dipolikentän muotoa perusteltiin laskemalla hiukkasten positiiviseen testivaraukseen aiheuttamien sähköisten voimien summia eri tarkastelupisteissä. Aikaisemmin opetuksessa oli siis todettu sähkökentän voimakkuuden olevan sähköinen voima jaettuna testivarauksen varauksella, ja siten samansuuntainen kuin positiiviseen hiukkaseen vaikuttavan sähköisen voiman suunta. Kuvaan 17 on liitetty kuvakaappaus opettajan piirtämistä vektorilaskuista. Taustatukena perustelulle toimivat vektorien laskusäännöt, joiden avulla kahden hiukkasen voimien yhdistäminen pystyttiin toteuttamaan. Argumentin aikana opettaja selosti tekemisiään myös suullisesti, mutta perusteluketjun seuraaminen onnistuu myös ilman puhe-moodia. Yhtä tärkeässä roolissa puheen kanssa toimivat eleet, joilla opettaja pyrki suuntaamaan opiskelijoiden katseet kyseisellä hetkellä käsiteltävään argumentin osaan. Esimerkin argumentissa dominoivat siis visuaalinen ja matemaattinen modaliteetti, joille kielellinen ja toiminnallinen modaliteetti toimivat tukena.

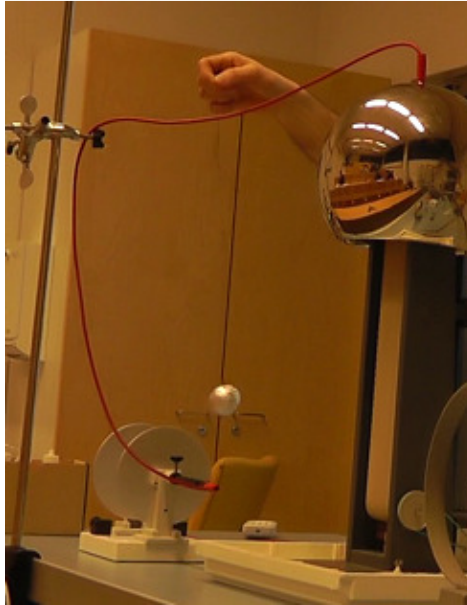
5.3. Argumenttien sisältö

Argumenttien rakenteellisen luokittelun jälkeen lähtötiedon, perustelun, taustatuen ja väitteen sisältävät argumentit analysoitiin vielä uudelleen sisällön näkökulmasta. Argumentit, joista puuttui perustelu tai taustatuki on jätetty tarkastelun ulkopuolelle, koska ne eivät täytä ehtoa fysikaalisesti järkevien kokeiden tai mallien käyttämisestä. Yhtäkään sellaista argumenttia ei aineistossa ollut, josta olisi puuttunut vain lähtötieto. Fysikaalisesti epäpäteviä oli siis lähtökohtaisesti 43 % (9/21) opettajan A ja 29 % (5/17) opettajan B argumenteista (neljä oikeanpuoleista pylvästä kuvissa 13 ja 14 luvussa 5.1.). Opettajan B argumenteista ne, jotka sisälsivät kaikki edellä mainitut argumentin osat, olivat myös fysikaalisesti päteviä. Sen sijaan opettajan A rakenteellisesti järkevistä argumenteista neljä ei täyttänyt fysikaalisesti pätevän argumentin ehtoja. Näistä kahta on tarkasteltu luvussa 4.4. menetelmien yhteydessä, ja loppuihin kahteen paneudutaan seuraavaksi.

Tarkastellaan ensin argumenttia, joka ei täytä ehtoa metodologiasta. Argumentissa opettajan väitteena oli *”kondensaattorilevyjen välissä on homogeeninen sähkökenttä”*, jota opettaja yritti perustella kahden erillisen demonstraation avulla. Ensimmäisessä demonstraatioissa opettaja käytti kuvan 18 mukaista koejärjestelyä, jossa kondensaattorilevyjen välissä riiputettiin langan varassa olevaa johdepalloa. Kun pallo kosketti toiseen levyistä, se varautui levyn kanssa samanmerkkisesti, mistä johtuen pallo heilahteli levyjen välillä. Alla on opettajan selitys tilanteesta. Sinisillä kenttäviivoilla opettaja viittaa aikaisemmin näyttämänsä kuvaan, jossa kondensaattorilevyjen välille oli piirretty homogeeninen sähkökenttä.

Opettaja: Huomatkaa, liike on täysin noitten sinisten kenttäviivojen suuntaista.
Syy on se, että se sähkönen voima vaikuttaa aina noissa kenttäviivojen suunnassa.

Todellisuudessa johdepallon liike ei voi olla täysin kenttäviivojen suuntaista, koska sähköisen voiman lisäksi palloon vaikuttaa myös painovoima. Kyseessä on siis heilurin rata. Pallon tarkkaa reittiä ei kokeesta pysty kuitenkaan havaitsemaan, koska kondensaattorin levyt ovat todella lähellä toisiaan pallon kokoon nähden, ja pallo heilahtelee levyjen välillä nopeaan tahtiin. Vaikka pallo liikkuisi vaakasuorasti levyjen välillä, pystyttäisiin kyseisellä kokeella kuitenkin näyttämään vain kenttäviivojen suunta – ei siis sitä, että kenttä on levyjen välissä homogeeninen. Jos haluttaisiin tarkastella sähkökentän voimakkuutta kentän eri pisteissä, pitäisi tarkastella ripustusnarun kulmaa, kun johdepalloa liikutellaan suurten kondensaattorilevyjen välissä.



Kuva 18: Koejärjestely, jolla pyrittiin osoittamaan kondensaattorilevyjen välissä olevan homogeeninen sähkökenttä

Seuraavassa kokeessa opettaja yritti näyttää kenttäviivojen muodon mannaryynikokeen avulla, jossa lasikipossa olevaan ruokaöljyyn ripotellut mannaryynit laitettiin kondensaattorilevyjä simuloivien elektrodien päälle. Opettaja tiesi selvästi etukäteen, että koe ei tulisi onnistumaan, koska ennen koetta hän muun muassa sanoi, että *"Tää ei välttämättä tule onnistumaan"* ja *"Nyt tää vaatii teiltä vähän hyvää mielikuvitusta."* Mielikuvitusta todella olisi tarvittu, koska mannaryynit liikkuvat lähinnä opettajan heilutellessa lasikippoa. Argumentissa mahdollisia perusteluja oli siis kaksi kappaletta, mutta niistä kumpikaan ei riittänyt väitteen perusteluun. Pelkkä perustelujen määrä ei riitä lisäämään argumentin pätevyyttä, ja toisaalta yksi kattava perustelu usein riittää opetustilanteessa. Tarkastellaan seuraavaksi argumenttia, jolla opettaja pyrkii osoittamaan, että sähkövaraukset kumoavat toisensa.

Opettaja A: Yläkoulusta muistatte sähkövarausta oli kahta lajia, plus- ja miinussähkö, mut yhtä hyvin me voitais nimetä tuota vaikka eboniittisähköks kun se syntyy tuosta eboniittisauvasta.

Ja sitten mä otan tämmösen muovitikun ja hankaan sitä muovipussilla.

Kokeilen saada erimerkkistä sähkövarausta aikaseksi.

Ja minkäslainen vuorovaikutus pitäis nyt havaita?

Hylkimis- vai vetovaikutus?

Oppilas: Veto.

Opettaja A: Nyt pitäis tulla vetovaikutus.

Eli nytten tässä on erimerkkiset sähkövaraukset näissä sauvoissa.

Ja koska näissä on sähkövarausta niin siitä aheutuu sähkönen voima.

Ja, tuohon palaan kohta... Katotaan toi seuraava dia.

Tossa pöydällä näätte kaks erilaista elektroskooppi ja tää elektroskooppi on hyvin yksinkertainen laite.

Tuolla ylhäällä on eriste ja silloin tää varsirunko tässä on eristetty tästä maasta.

Täs on välissä tää muovisilikonityyny.

Ja sitten täs on tämmönen akseli jos on tällanen viisari et se pääsee tossa kääntymään.

Ja tämä elektroskooppi toimii sähkövarauksen mittarina sillä tavalla, että nyt minä tuon tänne tätä eboniittisähköä.

Käy sillä tavalla että toi runko ja viisari varautuu samanmerkkisesti, jolloin ne hylkivät toisiaan ja viisari kääntyy.

Ja mitä enemmän minä tuon tänne sähkövarausta, niin sitä enemmän tietysti toi viisari tuosta heilahtaa.

No, sähkövaraukset kumoaa toisensa.

Nyt mä tuon sitä erimerkkistä sähköä tänne.

Mitä tapahtuu viisarille?

Jos minä tuon erimerkkistä sähköä tuohon samaan viisariin, ni mitä tapahtuu?

Oppilas: Ei mitään.

Opettaja A: Eli se palautuu vähän takasi päin.

Jos mä tuon tätä riittävästi, tätä erimerkkistä sähköä, se heilahtaa takasin tonne keskeltä katottuna vasemmalle, koska sillan tää varautuu tällä lasisähköllä.

Esimerkin argumentissa lähtötietona toimii lause ”*Yläkoulusta muistatte sähkövarausta oli kahta lajia, plus- ja miinussähkö.*” Opettaja siis kerta, mitä oppilailla tulisi olla ennakkotietona käsiteltävästä aiheesta. Lähtötieto ja väite yhdistetään perustelulla, jonka mukaan varatun kappaleen voi neutraloida tuomalla siihen erimerkkistä sähköä. Taustatukena tehdään elektroskooppikoe, joka vahvistaa perustelun. Argumentti vaikuttaa rakenteellisesti järkevältä ja siinä on oikeat rakennusosat, mutta se ole fysikaalisesti looginen. Argumentin lähtötietona käytetään asiaa, jonka tulisi oikeammin olla väitteenä. Opettajan tekemän elektroskooppikokeen ja siitä havaitun varausten kumoutumisen perusteella voidaan nimetä eri varauslajit plus- ja miinusvarauksiksi, kun ensin on osoitettu varausta olevan kahta eri lajia. Opettajan aluksi tekemillä sauvakokeilla voidaan siis todistaa vain, että varausta on kahta erilaista – ei sitä, että on kahta erimerkkistä varausta.

6. Pohdinta

6.1. Argumentoinnin tutkiminen

Luvussa 5.2. todettiin, että opettajat käyttivät argumentoidessaan useita modaliteetteja. Tämä siitäkin huolimatta, että oppitunnit olivat täysin luentomallisia. Erilaisten modaliteettien käyttö ei myöskään rajoittunut vain tiettyihin argumentin osiin. Mikäli argumentointia olisi tutkittu pelkästään kielellisenä toimintona, olisi menetetty paljon tietoa opettajien argumenteista. Useissa aikaisemmissa argumentoinnin tutkimuksissa oppitunnit, materiaalit ja haastattelut on rakennettu siten, että argumentointi voi tapahtua vain puhetta tai kirjoittamista käyttäen (esim. Kelly & Takao, 2002; Schwarz ym., 2003; Zohar & Nemet, 2002). Opetusta erilaisten moodien kannalta tutkittaessa luonnontieteen oppitunnit näyttäytyvät sen sijaan hyvinkin multimodaalisina (Kress ym., 2001; Pozzer-Ardenghi, 2007). Onkin ristiriitaista, jos muuten multimodaalisten oppituntien aikana kaikki argumentointi tapahtuu vain kielellistä moodia käyttäen. Jotta saadaan todella selville minkälaista on opettajien ja oppilaiden argumentointi, pitää argumentointia tutkia erilaiset modaliteetit huomioon ottaen, ja ilman oppitunnille annettua erillistä ohjeistusta.

Toinen tärkeä asia on argumenttien laadun tutkiminen. Monissa tutkimuksissa, joissa Toulminin argumentaatioteoriaa on käytetty argumenttien luokitteluun, argumenttien hyvyys on liitetty argumentin sisältämien osien lukumäärään (Erduran ym., 2004; Osborne ym., 2004; Schwarz ym., 2003). Tutkimuksessa kävi kuitenkin ilmi, että argumentin rakenteellinen ja sisällöllinen hyvyys eivät aina vastaa toisiaan. Osa rakenteellisesti hyvistä argumenteista osoittautui sisällöllisesti vajaaksi. Toki on niin, että tietyt rakenteelliset seikat luovat edellytykset pätevälle argumentille. Esimerkiksi argumentti, josta puuttuu perustelu, ei voi olla myöskään sisällöllisesti järkevä. Jotta saataisiin oikea kuva argumenttien tasosta, pitää rakenteen lisäksi kiinnittää huomiota myös argumenttien sisältöön. Tieto argumenttien rakenneosista auttaa kuitenkin argumenttien tunnistamisessa ja luokittelussa, ja on siksi oleellinen osa argumenttien tutkimista. Toulminin (2008) teoria toimii hyvin opettajien argumentoinnin tutkimisessa, jos sen rinnalla käytetään jotain sisältöteoriaa.

Toulminin argumentaatioteoria osoittautui erittäin käyttökelpoiseksi myös multimodaalisia argumentteja tutkittaessa. Koska teoria ei ota kantaa argumentin osien sisältöön, ne voivat hyvin sisältää myös muita kuin kielellisiä moodeja. Kuvassa 17 luvussa 5.2. on esimerkki tällaisesta ei-kielellisestä argumentista Toulminin argumentaatiokaavioon sijoitettuna. Argumenttien kirjoittaminen Toulminin kaavion avulla selkeyttää argumenttien rakennetta. Monet opettajien argumenteista saattavat olla luettuna pitkiä ja vaikeaselkoisia, joten kaaviosta on apua kokonaisuuden hahmottamisessa. Kaaviosta voi myös nopeammin tarkastaa, vastaavatko valitut osiot argumentin osille määritellyjä ominaisuuksia. Voidaan katsoa esimerkiksi liittyykö perustelu sekä lähtötietoon että väitteeseen, tai oikeuttaako taustatuki todella perustelun.

Vaikka Nousiaisen (2012) malli on suunniteltu käsitekarttojen sisällön arviointiin, sitä pystyi soveltamaan hyvin myös argumenttien sisällön arviointiin ilman suuria muokkauksia. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että mallin pohjana on käytetty argumenttien tutkimista varten luotuja menetelmiä. Toisaalta argumenteissa on nähtävissä tiettyä käsitekarttamaisuutta. Myös argumentit linkittävät perusteluiden avulla ennestään tuttuja käsitteitä ja lakeja uuteen tietoon (väitteisiin). Ainut hankaluus argumenttien sisällön tarkastelussa on se, että pelkästään valittujen argumenttien osien tarkastelu ei aina riitä, vaan on otettava huomioon myös oppitunnilla esitetty laajempi kokonaisuus aiheesta.

6.2. Fysiikan opettajien argumentointi

Opettajien argumenteissa ei esiintynyt lainkaan varauksia ja vastaväitteitäkin oli vain neljä kappaletta. Vastaväitteiden vähyyttä voi kuitenkin selittää se, että usein fysiikan opetuksessa vastaväitteet ovat sanattomia sopimuksia. Ilmiön tarkastelu on esimerkiksi rajoitettu klassiseen fysiikkaan, tai häiriöitä aiheuttavat vuorovaikutukset oletetaan olemattomiksi. Tämä ei tietenkään tarkoita, että kaikkien väitteiden pätevyysalueet voitaisiin automaattisesti jättää mainitsematta. Luvussa 5.1. argumenttien rakenteiden tarkastelun yhteydessä mainittiin myös, että opettajan B argumentit olivat huomattavasti selkeämpiä. Rakenteellisesti opettajien argumentit erosivat siten, että opettajalla B suurin osa argumenteista noudatti kaavaa lähtötieto/perustelu(+taustatuki)/väite, kun taas opettajan A argumentointi oli huomattavasti epäjohdonmukaisempaa. Suomen kielessä liikkeelle lähdetään usein kuulijalle tutuista taustaoletuksista ja perusteluista, joista sitten johdetaan väite (Grünn ym., 2001). Kenties tämän vuoksi nimenomaan suomenkielistä opetusta on helpompi seurata, jos opettaja käyttää argumenteissaan lähtötieto/perustelu/väite-rakennetta.

Aineistosta kävi myös ilmi, että opettajilla saattaa olla niin vahva usko omiin perusteluihinsa, että niitä ei edes hankaluuksien edessä kyseenalaisteta. Varsinkin demonstraatioissa keskitytään enemmän siihen, mitä pitäisi näkyä, kuin siihen, mitä oikeasti nähdään. Havaintojen ollessa ristiriidassa oletusten kanssa, tilannetta yritetään korjata suotuisaksi jopa vääristelemällä tuloksia. Koko kokeen merkitys taustatukena menetetään, jos oppilaita kehoitetaan uskomaan ennemmin opettajan sanaan kuin omiin havaintoihinsa. Havainto tukee Sampsonin ja Blanchardin (2012) saamia tuloksia, joiden mukaan luonnontiedon opettajat luottavat enemmän omaan sisältötietoonsa ja aikaisempiin kokemuksiinsa kuin saatavilla olevaan aineistoon arvioidessaan perusteluiden pätevyyttä. Opettajilla tulisi olla rohkeutta tutkiskella ja kyseenalaistaa omaa argumentointiaan. Opetustilanteessa tulisi myös hyväksyä se mahdollisuus, että ensimmäinen perustelu saattaa olla riittämätön, ja antaa itselleen mahdollisuus perustella väite jollakin toisella tavalla. Molemmilla tutkimuksen opettajilla yhtä väitettä vastaan oli yksi perustelu. Oppitunnilla ajankäytöllisesti ei välttämättä ole mahdollista esittää useita perusteluita, mutta saattaisi antaa opettajille varmuutta, jos heillä itsellään olisi varalla vaihtoehtoisia tapoja perustella jokin väite.

Opettajan A argumentointi oli tulosten mukaan multimodaalisempaa. Tämä ei kuitenkaan tehnyt siitä selkeämmin ymmärrettävää. Aikaisemmin tässä luvussa todettiin, että opettajan A argumentointi oli päinvastoin vaikeammin seurattavaa kuin opettajan B. Multimodaalisuus itsessään ei siis anna lisäarvoa opetukselle. Aikaisemmissa tutkimuksissa (Prain & Waldrup, 2006; Kress ym., 2001) onkin todettu, että opettajien tulisi tunnistaa moodien vahvuudet ja heikkoudet, sekä tietää, että kullekin moodille on omat käyttötarkoituksensa. Fysiikan opettajat saattavat kokea paineita lisätä etenkin demonstraatioita ja oppilaskokeita opetukseensa, koska nykyisessä opetussuunnitelmassa (LOPS, 2003) kokeiden merkitystä fysiikassa painotetaan vahvasti. Kokeiden tulisi kuitenkin olla perusteltuja ja antaa lisäarvoa argumentille.

Omaa opetusta olisi myös hyvä miettiä siltä kannalta, että perustelemattomia väitteitä jäisi mahdollisimman vähän. Nyt varsinkin oppituntien loppupuoliskoilla näitä väitteitä ilmeni molemmilla opettajilla. Tähän voi olla useita syitä. Kenties opettajat ovat huomanneet ajan olevan loppumassa ja kiirehtineet jättämällä perusteluja vähemmälle. Tai sitten aikaa on jäänyt ylimääräistä, ja opettajat ovat päättäneet sivuta seuraavien kurssien/oppituntien asioita. On myös mahdollista, että opettajien mielestä vähemmän tärkeät asiat on jätetty oppituntien loppupuolelle. Ajan loppuminen oppitunnilla ei saisi kuitenkaan tarkoittaa sitä, että joistakin fysiikan ilmiöistä tulee pelkkiä toteamuksia. Usein pari minuuttiakin saattaa olla riittävä aika kunnolliselle argumentille. Osassa argumenteista ei ollut perustelua, koska ne olivat ”seuraavan kurssin asiaa”. Näissä tilanteissa olisi paikallaan miettiä, onko asiaa tarpeen mainita jo meneillään olevassa kurssissa, vai voisiko aiheen ottaa kunnolla perustellen esiin vasta sitten, kun tarvittavat lähtötiedot on jo käsitelty. Yleinen ja koulun oma opetussuunnitelma aiheuttavat toki omat vaatimuksensa kurssien sisällölle. Lisäksi monet fysiikan aihealueet ovat tiiviisti yhteydessä toisiinsa. Tosin esimerkiksi väitteen ”värähtelevä elektroni synnyttää sähkömagneettista säteilyä” voisi varmasti huoletta jättää pois sähköstatiikan kurssilta.

6.3. Fysiikan opettajien argumentointitaitojen kehittäminen

Tulokset osoittavat, että fysiikan opettajien argumentointitaidoissa on paljon parannettavaa. Molemmilla tutkimuksen opettajilla oli maisterin tutkinto fysiikasta ja monen vuoden kokemus opettamisesta, mutta silti suuri osa oppitunneilla esitetyistä väitteistä jäi ilman fysikaalisesti pätevää perustelua. Opettajan B argumenteista jopa reilusti yli puolet (13/21) oli fysikaalisesti epäpäteviä.

Fysiikan opettajille suunnatuilla kursseilla argumentointia ja käsittehierarkioiden rakentumista on pyritty saamaan läpinäkyväksi. Esimerkiksi Helsingin yliopiston fysiikan laitoksen opettajaopiskelijoille suunnatuilla laboratorioluennoilla muistutetaan usein siitä, että käsitteitä ja lakeja ei tulisi ottaa liian hätiköidysti käyttöön, ennen kuin ne on jollakin tavalla oppilaille perusteltu. Opettajan B kaksi argumenttia ei läpäissyt pätevyyden vaatimuksia, koska opettaja käytti argumenttien alussa tietoa, jota vasta oltiin perustelemassa. Tekemällä näin, opettaja teki omat argumenttinsa ikään kuin tarpeettomiksi. Joidenkin aineistossa käytettyjen demonstraatioiden perusteella opettajaopiskelijoiden laboratorioluennoilla olisi ehkä syytä vielä

painottaa, että tärkeää on se, mitä ollaan perustelemassa, eli mitä kokeista on tarkoitus havaita, eikä se, mitä nimenomaista koetta käytetään.

Opettajille suunnatut fysiikan kurssit ovat kuitenkin vain pieni osa fysiikan opettajan tutkintoa. Fysiikalle ominaista argumentointia tulisi tuoda esiin myös perus- ja aineopinnoissa. Tämä olisi tärkeää etenkin fysiikkaa toisena aineena opiskeleville. Esimerkiksi Helsingin yliopistossa aineopintojen laboratoriotöissä suuressa osassa töistä on annettu jokin viitearvo, jonka saamiseen kokeella tähdätään. Ennen kokeen suorittamista on siis jo tiedossa minkälaisia tuloksia kokeella tulisi saada aikaiseksi. Argumentointi rajoittuu lähinnä mittaustulosten virheiden aiheuttajan tunnistamiseen, mikäli mittaustulokset eivät satu virherajoihin vastaamaan viitearvoa. Mielekkäämpiä kokeita voisivat olla esimerkiksi sellaiset, joissa tarkoituksena on tehdä havaintoja jostain ilmiöstä tai testata jonkin teorian paikkansapitävyyttä. Tällöin opiskelijoiden tulisi oikeasti tulkita mittaustuloksia ja käyttää niitä argumentointinsa tukena.

7. Yhteenveto

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää millaista on fysiikan opettajien argumentointi, ja onko argumenttien rakenteella yhteyttä argumenttien sisältöön. Tulosten mukaan suuri osa oppitunneilla esitetyistä väitteistä jäi kokonaan ilman perustelua (opettajalla A 29 % ja opettajalla B 18 %). Perustelemattomat väitteet esitettiin tuntien loppupuolella, ja osaan niistä luvattiin palata seuraavassa fysiikan kurssissa. Enemmistö argumenteista sisälsi väitteen, lähtötiedon, perustelun ja taustatuen, mutta silti liian suuressa osassa argumenteista oli puutteita nimenomaan perusteluiden ja taustatuen osalta. 43 % opettajan A ja 29 % opettajan B argumenteista ei sisältänyt perustelua ja taustatukea. Argumentit, joissa lähtötietoa seurasivat perustelu ja väite, olivat helpoiten seurattavia. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että kyseinen järjestys on suomen kielelle ominainen.

Opettajat käyttivät argumenteissaan myös useita eri moodeja. Tämä siitäkin huolimatta, että oppitunnit olivat luentomallisia. Kielelliset moodit dominoivat vain hieman yli puolta opettajien argumentoinnista. Jotta opettajien argumenteista saataisiin oikea kuva, pitää argumentointia tutkia siis multimodaalisena toimena. Matemaattisia ja visuaalisia moodeja esiintyi kaikissa argumentin osissa. Usein argumentti, jonka jossain osassa matemaattinen moodi oli dominoiva, oli kokonaan matemaattinen. Matemaattisella modaliteetilla on siis vahva rooli fysiikan opetuksessa. Ainoastaan demonstraatioita esiintyi selkeästi vain yhdessä argumentin osassa. Demonstraatioiden tehtävä fysiikan opetuksessa näyttäisi olevan puhtaasti taustatuessa, eli perustelun tukemisessa.

Argumenttien sisällön tarkastelu osoitti, että rakenteellisesti hyvin muotoiltu argumentti ei aina välttämättä ole fysikaalisesti pätevä. Opettajan A kahdestatoista rakenteellisesti hyvästä argumentista neljässä oli sisällöllisiä puutteita. Yhdessä puutteita oli ontologiassa, yhdessä taustatukena käytetyt kokeet eivät tukeneet argumenttia, ja kahdessa argumentointi eteni epäloogisesti. Mikäli argumenttien luokittelussa käytetään jotain argumenttien rakenteeseen keskittyvää teoriaa (esimerkiksi Toulminin teoriaa), pitää tutkia erikseen myös argumenttien sisältöä jotain muuta menetelmää käyttäen. Tutkimus osoittaa, että opettajien argumentoinnissa on parantamista – sekä rakenteellisesti, että sisällöllisesti. Opettajien selkeämmät ja tieteellisemmät argumentit voisivat tehdä opetuksen seuraamisesta helpompaa ja auttaa oppilaita kehittämään omaa argumentointiaan. Tästä syystä myös opettajien argumentoinnin tutkiminen oppilaiden argumentoinnin lisäksi olisi tärkeää.

8. Lähteet

- von Aufschnaiter, C., Erduran, S., Osborne, J. & Simon, S. 2008. Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*. 45: 101–131
- Clark, D. B., Stegmann, K., Weinberger, A., Menekse, M. & Erkens, G. 2008. Technology-Enhanced Learning Environments to Support Students' Argumentation. Teoksessa Erduran, S. & Jimenénez-Aleixandre, M. P. (toim.) 2008. *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research*. Springer. 217-243.
- Erduran, S., Simon, S. & Osborne, J. 2004. TAPping into Argumentation: Developments in the Application on Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. *Science Education* 88/6: 915-933.
- Erduran, S. & Jimenénez-Aleixandre, M. P. (toim.) 2008. *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research*. Springer.
- Felton, M. 2004. The Development of Discourse Strategies in Adolescent Argumentation. *Cognitive Development*. 19: 35-52.
- Grünn, K., Grünthal, S. & Uusi-Hallila, T. 2001. *Kivijalka: Lukion äidinkielen ja kirjallisuuden oppikirja*. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Hand, B., Gunel, M. & Ulu, C. 2009. Sequencing embedded multimodal representations in a writing to learn approach to the teaching of electricity. *Journal of Research in Science Teaching*. 46(3): 225–247
- Jaipal, K. 2010. Meaning making through multiple modalities in a biology classroom: A multimodal semiotics discourse analysis. *Science Education*. 94(1): 48–72.
- Kakkuri-Knuuttila, M. (toim.) 2007. *Argumentti ja kritiikki: Lukemisen, keskustelun ja vakuuttamisen taidot*. Helsinki. Gaudeamus.
- Kelly, G. J. & Takao, A. 2002. Epistemic Levels in Argument: An Analysis of University Students' Use of Evidence in Writing. *Science Education*. 86/3: 314-342
- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J. & Tsatsarelis, C. 2001. *Multimodal Teaching and Learning: The Rhetorics of the Science Classroom*. London. Continuum.
- Lemke, J. L. 1998. Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In Martin, J. R. & Veel, R. (Editors). *Reading science: Critical and functional perspectives on discourses in science* (pp. 87–113). London. Routledge.
- LOPS 2003. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Opetushallitus. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy

- Marttunen, M. & Laurinen, L. 1998. Learning of Argumentation in Face-to-Face and E-Mail Environments. Paper presented at the International Conference on Argumentation (4th, Amsterdam, Netherlands, June 16-19).
- Mork, S. M. 2005. Argumentation in Science Lessons: Focusing on the Teacher's Role. *Nordic Studies in Science Education*. 1/1: 17-30.
- Nousiainen, M. 2012. Physics Concept Maps: Analysis on Coherent Knowledge Structures in Physics Teacher Education. University of Helsinki. Department of Physics.
- Osborne, J., Erduran, S. & Simon, S. 2004. Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Education* 41/10: 994-1020
- Prain, V. & Waldrip, B. 2006. An Exploratory Study of Teachers' and Students' Use of Multi-modal Representations of Concepts in Primary Science. *International Journal of Science Education* 28/15: 1843-1866.
- Pozzer-Ardenghi, L. 2007. "Look at What I Am Saying": Multimodal Science Teaching. Doctor of Philosophy. University of Victoria. Department of Curriculum and Instruction.
- Sampson, V. & Blanchard, M. R. 2012. Science Teachers and Scientific Argumentation: Trends in Views and Practice. *Journal of Research in Science Teaching* 49/9: 1122-1148.
- Sampson, V. & Clark, D. B. 2008. Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education* 92:447-472
- Sandoval, W. A. & Millwood, K. 2005. The Quality of Students' Use of Evidence in Written Scientific Explanations. *Cognition and Instruction*. 23/1: 23-55.
- Schwarz, B. B., Neuman, Y., Gil, J. & Ily, M. 2003. Construction of collective and individual knowledge in argumentative activity. *Journal of the Learning Sciences*. 12/2: 219-256.
- Simon, S., Erduran, S. & Osborne, J. 2006. Learning to Teach Argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*. 28/2-3: 235-260.
- Toulmin, S. 2008. *The Uses of Argument*. New York. Cambridge University Press.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2002. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Walton, D. 1996. *Argumentation schemes for presumptive reasoning*. Mahwah. Erlbaum.
- Walton, D., Reed, C. & Macagno, F. 2008. *Argumentation Schemes*. Cambridge. Cambridge University Press.

- Zohar, A. 2008. Science Teacher Education and Professional Development in Argumentation. Teoksessa Erduran, S. & Jimenénez-Aleixandre, M. P. (toim.) 2008. Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research. Springer. 245-268.
- Zohar, A. & Nemet, F. 2002. Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. Journal of Research in Science Teaching. 39/1: 35-62.

Liite A: Opettajan A argumentit

- Opettaja: Yläkoulusta muistatte sähkövarausta oli kahta lajia, plus- ja miinussähkö, mut yhtä hyvin me voitais nimetä tuota vaikka eboniittisähköks kun se syntyy tuosta eboniittisauvasta.
Ja sitten mä otan tämmösen muovitikun ja hankaan sitä muovipussilla.
Kokeilen saada erimerkkistä sähkövarausta aikaseksi.
Ja minkälainen vuorovaikutus pitäis nyt havaita?
Hylkimis- vai vetovaikutus?
- Oppilas: Veto.
- Opettaja: Nyt pitäis tulla vetovaikutus.
Eli nytten tässä on erimerkkiset sähkövaraukset näissä sauvoissa.
Ja koska näissä on sähkövarausta niin siitä aheutuu sähkönen voima.
Ja, tuohon palaan kohta... Katotaan toi seuraava dia.
Tossa pöydällä näätte kaks erilaista elektroskooppia ja tää elektroskooppi on hyvin yksinkertainen laite.
Tuolla ylhäällä on eriste ja silloin tää varsirunko tässä on eristetty tästä maasta.
Täs on välissä tää muovisilikonityyny.
Ja sitten täs on tämmönen akseli jos on tällanen viisari et se pääsee tossa kääntymään.
Ja tämä elektroskooppi toimii sähkövarauksen mittarina sillä tavalla, että nyt minä tuon tänne tätä eboniittisähköä.
Käy sillä tavalla että toi runko ja viisari varautuu samanmerkkisesti, jolloin ne hylkivät toisiaan ja viisari kääntyy.
Ja mitä enemmän minä tuon tänne sähkövarausta, niin sitä enemmän tietysti toi viisari tuosta heilahtaa.
No, sähkövaraukset kumoaa toisensa.
Nyt mä tuon sitä erimerkkistä sähköä tänne.
Mitä tapahtuu viisarille?
Jos minä tuon erimerkkistä sähköä tuohon samaan viisariin, ni mitä tapahtuu?
- Oppilas: Ei mitään.
- Opettaja: Eli se palautuu vähän takasi päin.
Jos mä tuon tätä riittävästi, tätä erimerkkistä sähköä, se heilahtaa takasin tonne keskeltä katottuna vasemmalle, koska sillon tää varautuu tällä lasisähköllä.
- Opettaja: Sitte meillä on täällä tämmösiä glim-lamppuja.
Näilläkin voi varauksen osottaa.
Tää toimii kunnolla pimeässä.
Esimerkiks jos mä varaan tän nauhageneraattorin.. Nyt on siitä häipynyt virta...
Noin. Mä sammutan hetkeks valot. Se ei välttämättä nyt sinne taakse näy.
Eli pitäis nähdä tän lampun välähtäminen.
Nyt se varaus siirtyy jo ilman läpi.
Näätte tämän lampun se pää mitä minä kosketan välähtää

eli tosta ilman läpi hyppää varausta tänne.

Ja tällä voidaan tällä glim-lampulla osoittaa, että kappale on sähköisesti varautunut.

Hyvä, pistäkää valot takasin. Eli hohtolamppu, glim-lamppu...

Ja silläkin voidaan osoittaa varausta. Pistän tosta muutaman kiertämään.

Tämä itte laite tässä pöydällä on nauhageneraattori.

Tämä perustuu siis täysin puhtaasti hankaussähköön.

Eli tää nauha pyörii tässä keskellä.

Tuolla alhaalla on tommonen kampa joka hankaa sitä,

ja silloin tää kupu varautuu sähköisesti.

Ja nyt te voitte nähä varautumisen ilmiönä.

Opettaja: Eli nyt mulla on tässä tällöinen foliolla päällystetty pingispallo.

Tää on johdepallo.

Tää alumiinifolio on johde, siinä on vapaita elektroneita liikkumaan.

Tällä hetkellä tämä ei ole mitenkään sähköisesti varattu.

Minä varmistan sen vielä koskettamalla näitä metallirtakenteita, et sieltä poistuu ylimääräinen varaus.

Ja sitten mä vien ja kosketan tällä pallolla tätä kupua.

Huomaatteko? Lanka jää vähän vinoon. Minkätakia?

Osaako Oppilas B sanoa? Kosketuksen jälkeen lanka jää vinoon.

Oppilas A: Niis on [??] samanmerkkiset.

Opettaja: Hyvä, tästä isosta kuvusta siirtyy varausta tähän pikku palloon.

Ja nyt kun nää on samanmerkkisesti varautunut niin näitten välillä on sähkönen hylkimisvoima.

Huomatkaa, se sähkönen hylkimisvoima vaikuttaa, vaikka nää kappaleet eivät kosketa toisiaan. Eli täs on kyseessä etävuorovaikutus.

Opettaja: Me voidaan kuvata tää vuorovaikutus siten, että tää pikkupallo on tämän ison pallon synnyttämässä sähkökentässä [johdepallo narun varassa ja nauhageneraattori], ja se sähkönen voima aiheutuu siitä, että tämän pikkupallon sähkövaraus ja se sähkökenttä vuorovaikuttaa keskenään.

Eli se sähkökenttä tuodaan tähän peliin mukaan vain sen takia, että sillä selitetään etävuorovaikutus ja selvästi havaittava sähkönen voima, jolla on aina tietty suuruus ja suunta.

Mitä lähemmäs minä saan tämän tuotuu, ni sitä suurempi on se sähkönen voima, eli sitä vinommassa toi lanka on.

Mutta jos mä vien tän kauemmas, niin se voimakin heikkenee.

Lanka on jälleen melkein pystysuorassa.

Eli kentän avulla kuvattuna, tämän ison kuvun synnyttämä sähkökenttä on täällä kauempana heikompi, lähellä se on taas voimakkaampi.

- Opettaja: Eli yleisesti ottaen voidaan todeta tämmönen sähkövarauksen kvantittumisen laki. Eli nyt jos mä voisin tarkastella, että miten paljon sähkövarausta tässä pikkusessa foliopallossa on, niin mä voisin todeta seuraavaa:
silloin kun tämä koskettaa tähän isoon kupuun, niin tähän siirtyy tosta isosta kuvusta elektroneita, ja silloin tänne syntyvä kokonaisvaraus on aina elektronin varauksen monikerta.
- Opettaja: Ja nyt puhun johdekappaleesta.
Nimittäin tähän oli tää alumiinifolio johde, täällä on helposti liikkuvia elektroneja.
Ja nyt käy sillä tavalla, jos katotaan onnistuuko.
Tää on tällä hetkellä täysin sähköisesti neutraali eli tällä ei oo sähkövarausta täällä pallossa.
Minä lähestyn tätä. Yritän lähestyä niin varovasti tätä kupua, että en kosketa sitä.
Mitä voitte sanoa tällä hetkellä ton.. Onko lanka luotsuora?
- Oppilas A: Ei.
- Opettaja: Ei oo. Se näyttää vetävän tuota isoa kupua kohti eli selvästi on jonkunlainen vuorovaikutus kohti tuota kupua tälläkin hetkellä.
Mistä on kysymys? Oppilas B?
- Oppilas B: Oisko noi jotenkin erimerkkiset varaukset?
- Opettaja: Hyvä, eli täällä tapahtuu varausten siirtymistä.
Nyt tossa kuvassa on havainnoillistettu silleen, että jos täällä on ylimääräinen elektronijakauma täällä kuvun reunalla, ni käy sillä tavalla, että sähkönen hylkimisvoima saa tän johdepallon elektronit siirtymään mahdollisimman kauas.
Nimittäin samanmerkkisten varausten välillä vaikuttaa sähkönen hylkimisvoima.
Eli tällä hetkellä tämän kokonaisvaraus on nolla, mutta sähkönen voima aiheuttaa sen, että tässä pikkupallossa olevat elektronit siirtyy kauemmas tästä isosta pallosta ja silloin tänne syntyy tää tämmönen näennäisvarausjakauma.
Ja se tarkoittaa sitä, että tämä lähempänä kupua oleva puoli on ikäänkuin positiivisesti varattu, toinen puoli ikäänkuin negatiivisesti varattu.
- Opettaja: Kahden pistemäisen eli tämmösen pallomaisen kappaleen välillä vaikuttava sähkönen voima... onko Oppilas kuulolla siellä?...
- Oppilas, se on verrannollinen näiden varausten määrään mikä näissä palloissa on...
[...]
[Coulombin koejärjestelystä animaatio. Langan kiertymästä mitataan voiman suuruus. Mitä enemmän sähkövarausta, sitä enemmän lanka kiertyy.]
- Opettaja: Mitä enemmän tuodaan sähkövarausta, sitä enemmän tapahtuu kiertymistä.
- Opettaja: Kahden pistemäisen eli tämmösen pallomaisen kappaleen välillä vaikuttava sähkönen voima... onko Oppilas kuulolla siellä?...
- Oppilas, se on verrannollinen näiden varausten määrään mikä näissä palloissa on ja kääntäen verrannollinen näitten pallojen välisen etäisyyden neliöön.

Eli tämä kaava tässä, tää R toiseen kertoo kuinka kaukana nää pallot on toisistaan. Ja tarkalleen ottaen se on noitten keskipisteitten välinen etäisyys.

Ja huomataks, tää kaava tarkoittaa sitä, että se sähkönen voima aiheutuu sähkövarauksesta.

[...]

Ja nytten, tässä näkyy tää $1/R^2$ riippuvuus, eli huomataks, etäisyyden kymmenkertuess voima tippuu sadanteen osaan.

Eli tää käyrä [$1/x^2$ -kuvaaja] tippuu alas kun lehmän häntä.

Eli sähkönen Coulombin voiman riippuvuus on $1/R^2$, se on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön.

Opettaja: Tästä unohtu vielä kertoo yks tärke ominaisuus, nimittäin vuorovaikutusten symmetrisyys.
Eli Oppilas, jos Coulombin voima vaikuttaa tunnetulla voimalla tähän varaukseen A, niin se sama vuorovaikutus vaikuttaa yhtä suurella, mut vastakkaissuuntasella voimalla tähän toiseen palloon B.
Eli nää voimat on aina itseisarvoltaan yhtäsuuret.
Newtonin kolmannen lain perusteella.

[Kuvia pistevarauksen kentistä.]

Opettaja: Eli varaus synnyttää ympärilleen sähkökentän ja, Oppilas, nää kenttäviivat kuvaa sitä, että minkä suuntainen voima vaikuttaa tuohon kenttään tuotuun sähkövaraukseen.

Mikä on se voiman suunta ja mik.. Tuota.. Voimakkuus.

Eli tällä kentällä viime kädessä kuvataan se kahden kappaleen välinen sähkönen voima, joka on etävoima.

Ja mitä tiheämmässä tänne on piirretty näitä kenttäviivoja, niin sitä voimakkaampi on sähkökenttä ja sitä voimakkaampi on havaittava sähkönen vuorovaikutus.

Mikä käytännössä tarkoitti tossa $1/R^2$ riippuvuudessa, tässä niin sanotussa Coulombisessa pistevarauksen kentässä sitä, että mitä lähempänä ollaan ni sitä voimakkaampi on se sähkökenttä.

Ja nyt se sama juttu huomattiin, mitä kauemmaks tämä tuotiin [foliopallo], niin sitä loivempi on narun kulma eli kenttä on heikompi.

[Kuvat pistevarauksen kentistä ja dipolikentistä.]

Opettaja: Tossa alla on kuvia minkälainen on kenttien yhteisvaikutus.
On positiisen varauksen kenttä ja negatiivisen varauksen kenttä.
Oppilas, onko kuulolla? Oppilas, nää kentät voidaan laskea yhteen siten, että tähän väliin syntyy voimakkaampi kenttä.

[Narusta roikkuva foliopallo viedään kondensaattorilevyjen välille. Kun pallo koskettaa negatiivista levyä, pallo varautuu negatiivisesti ja siirtyy kohti pos. levyä. Kun pallo koskettaa pos. levyä se varautuu positiivisesti. Pallo jää heilumaan levyjen välille.]

Opettaja: Ja nyt nää sähkökentän kenttäviivat on yhdensuuntasia viivoja [kuva kondensaattorin sähkökentästä]
Niin Oppilas hyvä ennuste olis se, että nää sähkönen voima vaikuttaa kenttäviivojen suunnassa.
Tää sähkönen voima vie tän pallon tonne toiselle levyille.
Ja sitten siellä tapahtuu vastakkainen ilmiö.
[...]
Eli periaatteessa ennuste on se, että tän pitäis ruveta oskilloimaan tossa välissä.
[...]
Huomatkaa, liike on täysin noitten sinisten kenttäviivojen suuntasta.
Syy on se, että se sähkönen voima vaikuttaa aina noissa kenttäviivojen suunnassa.
[...][Mannasuurimokoe.] [...]
Toi kenttä on niin sanotusti homogeeninen eli vakiokenttä.

Opettaja: Kuitenki toi sähkönen voima tossa selvästi osoittaa, että tossa välissä tapahtuu jotakin.
Sähkönen voima siirtelee sitä levyltä toiselle.
Hyvä. Ja nyt, mitä pitäis kondensaattorista tässä vaiheessa, Oppilas, huomata.
Poispäin positiivisesta levystä eli sähkökentän suunta, electric field, suuntautuu positiivisesta levystä kohti negatiivista levyä.
Ja nyt jos me kysytään kuinka paljon..anteeks..kuinka voimakas kenttä sinne syntyy niin kaava on tuossa. [Kalvolla $E=Q/\epsilon A$]

Opettaja: Jos tässä pallossa on positiivinen varaus, niin se sähkönen voima mikä aiheutuu tän varauksen ja kentän vuorovaikutuksesta vaikuttaa tonne kentän suuntaan.
Jos täällä on taas negatiivinen varaus, niin kentän suunta ja vaikuttava sähkönen voima on vastakkaissuuntasia.

[Aaltodemonstraatiolaite, jossa naruun kiinnitetty puutikkuja.]
Opettaja: Eli nää on staattisia vakiokenttiä mitä tänään tutkittiin, eli se kenttä on kokoajan vakio. Minä olen elektroni, joka on kokoajan paikallaan ja minä synnyttän tähän tämän sähkökentän. Ja nytten teidän kännykässä oleva elektroni saa potkua, vauhtia sieltä virtapiiristä ja se alkaa värähtelemään siellä virtapiirissä.
Mitä lähtee syntymään sille..siihen sähkökenttään? Aaltoja.

Oppilas A: Mikä tää nyt on?

Opettaja: Eli tää kertoo Oppilas A lyhyesti sen, että nyt jos minä olen elektroni joka synnyttää tän vakiona pysyvän sähkökentän, myöhemmin tällä kurssilla nyt minun sähkökenttä lähtee aaltoilemaan.
Tää lähtee synnyttämään sähkömagneettista säteilyä.

- Opettaja: Ku meillä on ulkosessa kentässä, sitä kuvastaa nää siniset viivat, niin meillä on siellä sähkövaraus, niin nyt tähän sähkövaraukseen vaikuttava sähkönen voima vaikuttaa kentän suuntaan kun varaus on positiivinen.
Ja nytten jos mä kirjotan tälle positiiviselle varaukselle liikeyhtälön, niin kun tähän vaikuttaa vaan yks voima joka on tää sähkönen voima, niin mä voin vanhan tutun liikeyhtälön kirjottaa että: sähkönen voima aiheuttaa tälle kiihtyvyyden siten että kiihtyvyys las...kiihtyvyys lasketaan Newtonin toisesta laista.
Kokonaisvoima on massa kertaa kiihtyvyys.
Eli sen kokonaisvoiman tilalle tuohon liikeyhtälöön tulee vaan toi sähkönen voima ja se aiheuttaa kiihtyvyyden siten, et se voidaan tästä yhtälöstä ratkasta. $[F=ma]$
Ja nyt sähkönen voima toisaalta voidaan laskea tälleen et se on ton varauksen määrä kertaa kentän voimakkuus. $[QE=ma]$
Ja jos tuosta esimerkiksi ratkastaan nyt toi kiihtyvyys, kysymys kuuluu minkä kiihtyvyyden kappale saa.
Niin se [kiihtyvyys] on se sähkönen voima, eli varaus kertaa kentän voimakkuus, jaettuna hiukkasen massalla.
Aivan suoraviivanen Newtonin toisen lain sovellus.
- Opettaja: Tää käydään myöhemmin läpi uudestaan, kun käydään kondensaattori, mut Oppilas, mikä on yhteys sähkökentän voimakkuuden ja kondensaattorin jännitteen välillä.
Tuossa on se kaava: $U=Ed$.
- Opettaja: Ja koska voima on vakio, varaus kertaa kentän voimakkuus, niin se työ voidaan laskea tällä mekaniikan tutulla kaavalla, että työ on voima kertaa matka.
 $[W=Fd=QEd=QU]$
Oppilas, tuossa lukee: sähkökentän elektroniin tekemä työ on sähkönen voima F kertaa matka minkä se vaikuttaa.
Ja toi d , distance, on tässä tää levyjen välimatka, niin toi työ mikä tehdään on varaus kertaa kentän voimakkuus kertaa matka.
Ja nyt kun tuota ryhmitellään uudelleen, Oppilas huomaa otetaan tuolta kondensaattoreista tämä kaava. $[U=Ed]$
Niin kentän voimakkuus kertaa matka onkin jännite.
Ja sillen tää kaava voidaan pelkistää ton näköseks kun tuossa lukee: $[W=QU]$
Elektroniin tehty työ eli sen vuorovaikutuksen sähkökentän elektroniin tekemä työ on varaus kertaa jännite.
- Opettaja: Huomatkaa analogia painovoiman kanssa.
[...]
Eli nyt jos minä nostan tämän pallon ylös, niin minä teen työtä painovoimakenttää vastaan. Minne se minun tekemä työ varastoituu? Pallon potentiaalienergiaksi.
Ja täs on aivan sama juttu.

Oppilas, jos tämä elektroni on täällä positiivisella levyllä. Jos kuvitellaan, että tää elektroni on siirtynyt tohon, niin se sähkönen voima vetää sitä kokoajan vasemmalle.

Tässä tilanteessa tää sähkökenttä ei voi enää tehdä työtä tuohon elektroniin.

Nyt täytyy tuoda ulkonen virtalähde tai joku muu juttu.. siirtää..

Ikäänkuin minä kävisin ja..skriii..kiristäsin jousen, lataisin sähkökentän potentiaalienergian takasin tolle elektronille.

Eli päinvastan liikkuminen täällä kentässä eli jos tää liikkuu tää elektroni sen voiman vaikutussuunnalle vastakkaiseen suuntaan, se vaatii ulkoista työtä. Meidän pitäisi tehdä se työ.

Ja sillon se meidän tekemä työ varastoituu tän elektronin potentiaalienergiaksi.

Eli tällä sähkökentällä on nyt selvästi potentiaalienergiaa.

Opettaja: No vanha tuttu työperiaate toimii tässä samalla tavalla, nimittäin nyt jos mä kysyn että mitä tälle työlle tapahtuu niin nyt voitais Oppilas todeta tää, tämä näin että liike-energia muuttuu sillä määrällä kuin on toi tehty työ. $[W=\Delta E_k]$

Eli tämän alkutilan ja lopputilan liike-energioitten erotus on yhtä kuin sen sähkösen voiman tekemä työ.

Tässä sovellettiin nyt sitä mekaniikan työperiaatetta ihan tyylipuhtaasti.

Ja sit jos me nyt oletetaan että alkunopeus on nolla, jos me oletetaan että tää irtoo täältä negatiiviselta levyltä ja Oppilas oletetaan että tää alkunopeus on nolla.

Niin nyt jos kysytään, että millä nopeudella se törmää tähän positiiviseen levyyn, sähkönen voimahan vie tätä elektronia kohti positiivista levyä, ni se voidaan tästä työperiaatteesta ratkasta.

Tämä termi häviää sillon tästä yhtälöstä ja meille jää tämmönen että: sähkökentän tekemä työ on voima kertaa matka eli qEd .

Voidaan ilmottaa jännitteen avulla, toi kentän voimakkuus kertaa välimatka on toi jännite $[W=qEd=qU]$

Voidaan ilmasta tällä tavalla, että siirrettiin varaus q jännitteen U yli ja se ilmenee siten, että tää saa ton verran liike-energiaa. $[qU=E_k]$

Opettaja: Ja nytten tämmönen tuota uus asia ku virtalähdeilmiö.

Tähän palataan ens kerralla.

Mut ajatus virtalähdeilmiössä on se että pitäis selittää se että mitä siellä virtajohdon sisällä atomitasolla tai mikroskooppisella tasolla tapahtuu.

Nyt kun te suljette virtapiirin, niin tämä virtalähde syöttää tänne sähkökentän.

Liite B: Opettajan B argumentit

- [Painovoima ja sähköinen voima ovat etävuorovaikutuksia.]
- Opettaja: Ja nyt kun meillä on varauksellinen hiukkanen, varauksellinen kappale, ni sen ympärillä on sähkökenttä. Riippumatta siitä onko siinä mitään muuta. Ihan samalla tavalla kun maapallolla on painovoimakenttä riippumatta onks siinä mitään..mitään tavaraa siinä ympäristössä. Ja nyt tää varauksellisen.. Tai tän varauksellisen hiukkasen toinen asia mitä se varaus sille tekee, on se että se havaitsee sähkökentän. Siis varaus sekä aiheuttaa sähkökentän että varaus mahdollistaa sen että se hiukkanen kokee sen sähkökentän voiman. Samalla tavalla massa liittyy painovoimaan. Kun meillä on massallinen kappale, niin [??] massallinen kappale tää synnyttää ympärilleen painovoimakentän. Samalla tavalla kun varauksellinen hiukkanen synnyttää ympärilleen sähkökentän.
- Opettaja: Sähkökentän voimakkuuden suunta, itseasiassa jos mä hyppään tonne taaksepäin vielä sen verran että me nähdään... Ku me katotaan tätä määritelmää, niin jos meillä on positiivinen hiukkanen tässä, niin sillohan me jaetaan toi voima jaetaan plusmerkkisellä luvulla. Kun vektori jaetaan plusmerkkisellä skalaarilla, ni saadaan vektori, joka on samansuuntainen kuin tuo alkuperäinen vektori. Eikö niin? Toisin sanoen jos hiukkanen joka siellä kentässä on, jos se on positiivinen niin sillan voima on kentän suuntainen. Ja kentän suunta on toisin sanoen sama kuin sellainen voima joka kohdistuu positiivisesti varattuun hiukkaseen. Näin.
- Opettaja: Jos me katotaan tätä Coulombin lakia täällä ja ajatellaan, että tää Q_1 on sen hiukkasen varaus joka siellä kentässä on ja Q_2 on hiukkasen synnyttämä..sen kentän synnyttäjähiukkasen varaus. Niin jos me jaetaan sitten tää voima tuolla Q_1 :llä, niin sillohan me saadaan tästä että toi k kertaa Q_2 per R toiseen. $[E=F/Q_1=kQ_2/R^2]$ Ja tää on nyt semmonen kenttä joka.. Joka tuota..ää..on Coulombin kenttä. Hiukkasen ympärille syntyvän sähkökentän voimakkuus saadaan tästä lausekkeesta. [...]
- Se testivaraus ajatellaan et se on niin heikko se varaus verrattuna siihen kentän voimakkuuteen, et se ei merkittävästi muuta sitä kentän muotoa.

[Kuvia pistevarauksen kentästä.]

Opettaja: Ja tässä olen käyttänyt sanaa "[kenttäviivat] kuvaa voimakkuutta".
Että se ei..se ilmaisee suunnan, mutta kuvaa voimakkuutta.
Ööö..se itseasiassa ilmaisis sen voimakkuuden jos tää kuva ois kolmiulotteinen.
Kun se on kolmiulotteinen sitä kautta se tiheys..niin suoraan se tiheys kertoo meille sen, eli se et jos me otetaan kahdesta paikasta se..katotaan miten tihee se kenttäviivaverkosto siinä on, verrataan toiseen paikkaan niin me saatas suoraan se kenttävoimakkuuksien ero.
Mut kaks ulotteisessa kuvassa me ei sitä siitä nähdä.
[...]
Jos me katotaan taas tätä lauseketta $[E=FQ]$ täällä, niin mitä suurempi toi varaus on, kentän aiheuttama varaus, sen voimakkaampi se kenttä on.
Ja mitä kauempana kentästä tai HIUKKASESTA ollaan, niin sen pienempi se kentän voimakkuus on.
Just tää R toiseen riippuvainen. Ja tässä kirjoitettuna sama, minkä äsken sanoin.
Jos hiukkanen on negatiivisesti varattu, niin kenttäviivat tulee sitä kohti.
Tämmöstä kenttää muuten kutsutaan joko säteittäiseksi kentäksi tai tai pallosymmetriseksi kentäksi joka tarkoittaa sillon sitä, että kun mennään tietylle etäisyydelle hiukkasesta ja kuljetaan sillä etäisyydellä pitkin sitä pallopintaa niin se se kenttä on joka suunnassa yhtä voimakas yhtä kaukana.
Sitä tarkoittaa se pallosymmetrinen.

[Kuvat pistevarauksen kentästä ja dipolikentistä.]

Opettaja: Ja miten tää nyt voidaan selittää että miten tää kentän muoto syntyy, niin me voitais jokaisesta pisteestä erikseen katsoa mikä on noiden kahden hiukkasen yhteisvaikutus.
Tääl on positiivinen hiukkanen. Tuol on negatiivinen hiukkanen.
Otetaan vaikka tosta piste noin.
Positiivinen hiukkanen aiheuttaa tonne kentän jonka suunta on tuon suuntainen.
Negatiivinen hiukkanen joka on nyt yhtä kaukana, aiheuttaa kentän kohti negatiivista hiukkasta. [Vektoripiirustus taululle.]
Ja se on on yhtä voimakas kenttä jos nää on toi piste on yhtä kaukana molemmista hiukkasista ja ne varaukset on samat.
Silloin näiden kahden kentän vektorisumma on tuonne oikealle osoittava vaakasuuntainen vektori.
Ja se on tilanne sillon kun me ollaan missä tahansa tässä keskinormaalilla.
Keskinormaalilla missä tahansa pisteessä tuolla kentän suunta on suoraan oikealle.
[Vektorikuva toisesta kentän pisteestä taululle ja yleistys.]
[Sama logiikka kahden samanmerkkisen hiukkasen kentässä.]

- Opettaja: Puhutaanpa hetken aikaa sitten varatusta johdekappaleesta.
Mä hetken äsken tuossa mainitsin tuosta tuosta johdekappaleesta.
Se on tässä kappale, johon tulee kokoajan varausta [nauhageneraattori] ja se varaus pyrkii menemään sinne pinnalle.
Ja nyt syy siihen miks se menee sinne pinnalle, on tietenkin se, että kun se varaus pääsee vapaasti liikkumaan johdekappaleessa, niin se samanmerkkinen ylimääräinen varaus pyrkii menemään mahdollisimman kauas, koska ne hylkii toisiaan ja haluaa mahdollisimman kauas ja kauemmaks ei pääse kuin pinnalle.
Siksi varaus on johdekappaleessa pinnalla.
- Opettaja: [johdekappaleen] Sisällä ei oo sähkökenttää.
Koska nyt ne pääsee ne elektronit liikkumaan vapaasti siellä, niin ne asettuu sillä tavalla että sieltä häviää sähkökenttää.
Koska niin kauan kun siellä on sähkökenttää, ne liikkuu kunnes löytää semmosen aseman, että sähkökenttä on hävinnyt.
Tällä tavalla voidaan päätellä se, että tämmösen kappaleen sisällä ei ole sähkökenttää.
- Opettaja: Ja tässä nähdään myös semmonen asia mitä tuolla luettelossa ei kerrota, on se että kun tää sähkövaraus jakautuu siihen pinnalle, niin tämmösessä jyrkemmissä kaareissa kohdissa tai terävissä kohdissa, tästä seuraa se että pinnalla, niin ne pinnat on lähempänä toisiaan siitä seuraa että siellä se varaus niinku tietyssä tilassa on suurempi ku täällä missä kaa..kaareutuu loivasti.
Ja siitä seuraa, että syntyy tämmösiä tämmösiin kärkiin tulee voimakas sähkökenttä ulkopuolelle.
- Opettaja: Ja ensimmäinen tämmönen tai yksinkertaisin tapa missä tämmönen tän tyyppinen yksinkertaisin tapa millä tämmönen sähkönen kappale se kappale sähkösesti varattu kappale saa sähkökentän aikaan joka on homogeeninen on tämmönen hyvin suuri varattu taso.
Jos meillä on jakautunu varaus tasaisesti tommosen ison tason lähelle niin sen ulkopuolella kenttä osottaa pois päin siitä tasosta jos se on positiivisesti varattu ja se kenttä on kaikkialla saman suuntanen ja yhtä voimakas.
Eli nyt tässä vaikka on tää kuva on aika pienestä tasosta, niin jotta tää kenttä ois tämmönen, niin sen pitäis olla hirvittävän paljon suurempi.
Mitä lähemmäks mennään sitä tason reunoja niin sen sen enemmän se kaartuu sitten sen se se kenttä.
- Opettaja: Nyt mä pikkasen seuraavan kurssin asiaan tässä viittaa, nimittäin, nimittäin nyt näitten sähkökenttien avulla voidaan vaikuttaa varauksellisten hiukkasten liikesuuntaan ja nopeuteen. Nyt meil on hiukkanen joka, joka lähtee päästetään irti tästä positiivinen hiukkanen sehän lähtee kiihtymään ton kentän suuntaan koska se on sen voiman suunta.

Opettaja: Ja nyt tässä [kondensaattorilevyjen] välissä oleva sähkökentän voimakkuus voidaan laskea tällöisen kaavan avulla. [$E=\sigma/\epsilon$, $\sigma=Q/A$]

[Työperiaatteen kertaus. Työperiaate $W=Fd$ ja $W=\Delta E_k$ pätee aina.]

Opettaja: No, niin, voima on varaus kertaa sähkökentän voimakkuus, joka tulee ihan suoraan siitä sähkökentän voimakkuuden määritelmästä.

Muistatte ehkä sen että sähkökentän voimakkuus on voima jaettuna tän hiukkasen varauksella.

Ja nyt se hiukkanen meillä tässä tilanteessa ei..

Ja kun se liikkuu matkan delta x, ton noin d:n, hiukkanen liikkuu matkan delta x, niin silloin kun tuohon voiman paikalle sijoitetaan tää voiman lauseke, niin saadaan että se työ mitä se sähkönen voima tekee on varaus kertaa sähkökentän voimakkuus kertaa kuljettu matka. Niin suuren työn se tekee.

[Sähköinen voima analoginen painovoiman kanssa.]

Opettaja: [S]e työ mitä se sähkönen voima tekee on varaus kertaa sähkökentän voimakkuus kertaa kuljettu matka.

[...]

Nyt tää on pikkusen sillä tavalla vähän hassu tää tää tota johdin siinä mielessä että että kun siellä niitä on niitä muita vuorovaikutuksia.

Jos mä nyt kuitenkin pikkusen hyppään tosta johtimesta ulos.

Aatellaan että tää tapahtuu tyhjiössä.

Ja jos me ollaan niinku elektronille annettu vauhti ja se tulee sähkökenttään ja se liikkuu sähkökentän suuntaan se elektroni, silloin elektroniin kohdistuu voima joka on on taaksepäin.

Sen vauhti kokoajan hidastuu.

Silloin se menettää sitä liike-energiaa ja se muuttuu potentiaalienergiaks.

Ja sitten kun se on pysähtynyt se lähtee liikkumaan takasin siihen suuntaan mistä se on tullu eli sähkökenttää vastaan eli siihen suuntaan mihin se voima vaikuttaa.

Silloin se liike-energia kasvaa ja se menettää potentiaalienergiaa.

Ja se tehty työ on sekä liike-energian muutoksen, että potentiaalienergian muutoksen suuruinen.

Ne on vaan vastakkaisiin suuntiin.

Ja siten toi potentiaalienergian muutos on tämän suuruinen.

Saman suuruinen kuin tehty työ.

- Opettaja: Ja nyt kun siellä potentiaalienergian tapauksessa aina kun meillä on homogeeninen kenttä, nyt meillähän on painovoima kenttä tässä se meidän tuttu kenttä on homogeeninen kenttä tässä maan lähellä, niin näissä tilanteissa me voidaan valita se potentiaalienergian nollataso niinkuin me halutaan.
Onks teille koskaan perusteltu sitä et miks se potentiaalienergian nollataso voidaan valkata, valita vapaasti?
No se on yksinkertaisesti siitä syystä, että homogeenisessä kentässä riippumatta siitä että missä potentiaalienergialuokassa on, se potentiaalienergian muutos on aina aina samalla lausekkeella saatavissa.
Se joten tästä syystä potentiaalienergia on suoraan verrannollinen siihen sijaintiin kentän suunnassa niin niin siitä seuraa se että me voidaan se [??] taso vapaasti.
- Opettaja: Siis kun hiukkanen on sähkökentässä ja se sähköinen voima tekee työtä siihen hiukkaseen, silloin potentiaalienergia pienenee.
[...]
Samalla tavalla kun putoava kappale on tilanteessa jossa se voima tekee siihen työtä, niin samalla tavalla sähkökentässä positiivinen hiukkanen liikkuu sähkökentän suuntaan, ja negatiivinen hiukkanen kenttää vastaan, niin sillan voima tekee siihen työtä.
Ja positiivisen hiukkasen potentiaalienergia pienenee sillan kun se liikkuu sähkökentän suuntaan ja negatiivisen hiukkasen potentiaalienergia taas kasvaa siinä tapauksessa.
- Opettaja: Samalla tavalla kun potentiaalienergia pienenee sähkökentän suuntaan mennessä, niin potentiaalikin pienenee sähkökentän suuntaan mennessä.
Siis potentiaalienergia positiivisesti varatulla hiukkasella pienenee sähkökentän suuntaan mennessä.
Ja koska se me jaetaan se potentiaalienergia varauksella, sillan kun varaus on positiivinen, niin silloinhan se tarkoittaa et se sähkökentän potentiaali muuttuu samaan suuntaan, kun sen positiivisesti varatun hiukkasen potentiaalienergia.
[...]
Niin kun sähkökenttä kulkee alaspäin, niin mikä tahansa vaakatasossa oleva pinta on sellainen, et jos me liikutaan siinä vaakatasossa niin niin me sen hiukkasen potentiaalienergia ei muutu.
Eli siinä tasossa potentiaali pysyy pysyy öö vakiona.
Ihan samalla tavalla kun jos me liikutaan painovoimakentässä vaakatasossa, niin meidän potentiaalienergia ei muutu.
Eli pysytään samassa potentiaalissa koko ajan.
Niin sähkökentässä tilanne on myös sama.
Että kun me ollaan kohtisuorassa sähkökenttää vastaan...
[...]
Kenttää vastaan kohtisuorassa suunnassa liikuttaessa potentiaali ei muutu ja tämmöset pinnat on sitten tasapotentiaalipintoja.

Opettaja: Mut mitäs toi Q kertaa E nyt olikaan? Eiku anteeks E kertaa d ? Q kertaa E oli F , mut mitäs E kertaa d oli? Oppilas A?

Oppilas A: Eiks se oo jännite?

Opettaja: Se on se jännite.

Eli tämä on nyt varaus kertaa jännite. [$W = Fd = QEd = QU$]

Ja tää on nyt voimassa jälleen kerran kaikissa sähkökentissä.

Työ on missä tahansa sähkökentässä U kertaa.. Q kertaa U [$W = QU$]

Se siis pätee tämmösen pistevarauksen ympärillä.

Kun siirytään jostain pisteestä toiseen niin tiedetään mikä on pisteiden välinen jännite, niin se työ saadaan tuosta.